

CHƯƠNG 1: CHẤT BÁN DẪN VÀ DIODE ỨNG DỤNG

1.1 Chất bán dẫn

1.1.1 Khái niệm

Cấu trúc vùng năng lượng của chất rắn tinh thể

Trong mạng tinh thể của chất rắn, tùy theo các mức năng lượng mà các điện tử có thể chiếm chỗ hay không chiếm chỗ, người ta phân biệt ba vùng năng lượng khác nhau:

Vùng hóa trị (vùng đầy): Tất cả các mức năng lượng đều đã bị điện tử chiếm chỗ, không có mức năng lượng tự do.

Vùng dẫn (vùng trống): Các mức năng lượng đều còn trống hoặc có thể bị chiếm chỗ một phần.

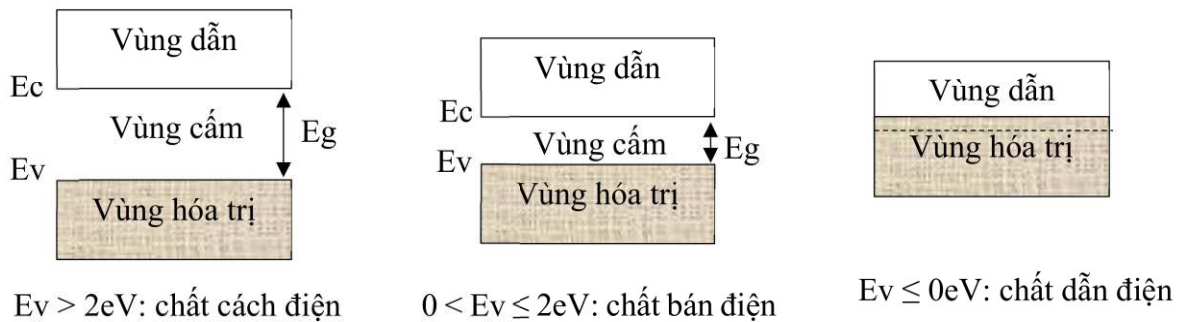
Vùng cấm: Trong đó không tồn tại mức năng lượng nào để điện tử có thể chiếm chỗ hay xác suất tìm hạt tại đây bằng 0.

Tùy theo vị trí tương đối giữa 3 vùng trên, các chất rắn được chia làm 3 loại (xét tại 0°K).

Năng lượng vùng cấm: $E_g = E_c - E_v$

Trong đó E_c : Năng lượng đáy vùng dẫn

E_v : Năng lượng đỉnh vùng hóa trị



Hình 1. 1 Phân loại chất rắn theo cấu trúc vùng năng lượng

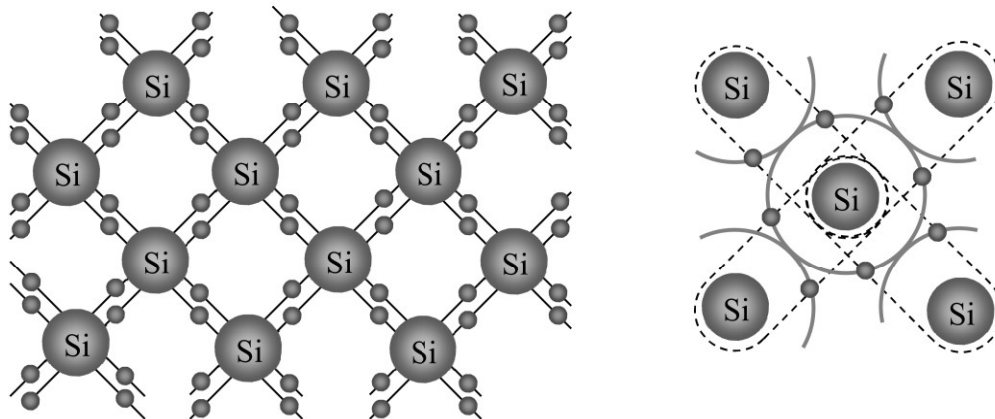
1.1.2 Chất bán dẫn thuần (intrinsic)

Chất bán dẫn thuần là chất mà ở tại mỗi nút mạng tinh thể của nó chỉ có nguyên tử của một loại nguyên tố

Hai chất bán dẫn thuần điển hình là Ge và Si có năng lượng vùng cấm: $E_g(\text{Ge})=0,72\text{eV}$ và $E_g(\text{Si})=1,12\text{eV}$, thuộc nhóm IV trong hệ thống tuần hoàn.

Trong mạng tinh thể, các nguyên tử Ge (Si) liên kết với nhau theo kiểu cộng hóa trị (các nguyên tử đưa ra các electron hóa trị liên kết với các nguyên tử xung quanh).

Để đơn giản, ta xét cấu trúc của tinh thể bán dẫn Si dưới dạng mô hình phẳng như sau:



Hình 1.2 Cấu trúc nguyên tử của chất bán dẫn thuần Si

Trong mạng tinh thể gồm nhiều nguyên tử, chung quanh mỗi nguyên tử bán dẫn luôn luôn có 4 nguyên tử khác kề cận và liên kết chặt chẽ với nguyên tử đó bằng liên kết cộng hóa trị. Do đó lớp vỏ ngoài cùng của Si như được bổ sung thêm 4 điện tử, nghĩa là đủ số điện tử tối đa của lớp vỏ (8 điện tử) và lớp vỏ này trở nên bền vững. Ở trạng thái này (t^o thấp) chất bán dẫn không có điện tích tự do, nó không dẫn điện

Khi có một tác động nhiệt hoặc được kích thích bởi một năng lượng ngoài một số điện tử nhận được năng lượng sẽ thoát ra khỏi mỗi liên kết để trở thành điện tử tự do. Khi một điện tử vừa thoát ra khỏi mạng sẽ để lại một liên kết không hoàn chỉnh gọi là lỗ trống mang điện tích dương $\oplus$ và điện tử khác sẽ lấp vào lỗ trống đó để lại một lỗ trống khác... Quá trình này xảy ra trong toàn mạng tinh thể.

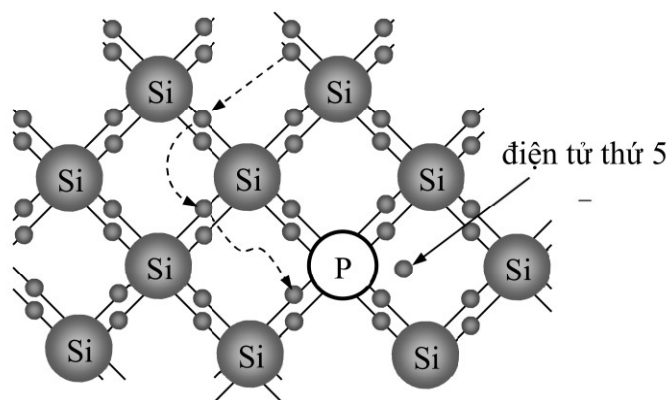
Nếu ta đặt miếng bán dẫn này trong một điện trường ngoài thì các điện tử tự do sẽ tham gia quá trình dẫn điện.

Gọi n_i , p_i là mật độ điện tử, lỗ trống trong chất bán dẫn thuần thì $n_i = p_i$

1.1.3 Chất bán dẫn tạp

a. Chất bán dẫn tạp loại N

Khi pha tạp chất có hóa trị 5 trong bảng hệ thống tuần hoàn vào chất bán dẫn thuần theo một tỉ lệ thích hợp tạo nên chất bán dẫn tạp loại sao cho các nguyên tử tạp chất này chiếm chỗ một trong những nút của mạng tinh thể thì cơ chế dẫn điện sẽ thay đổi.



Hình 1.3 Mạng tinh thể của bán dẫn N

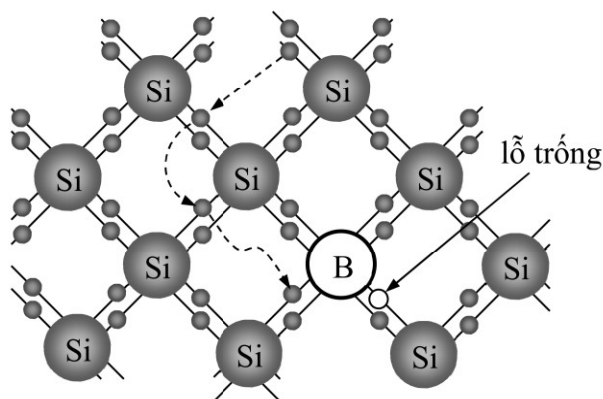
Khi tham gia vào liên kết cộng hóa trị, thì 4 điện tử của nguyên tử Phosphore (P) liên kết với 4 điện tử của 4 nguyên tử Si lân cận tạo thành 4 liên kết cộng hóa trị, còn điện tử thứ 5 liên kết yếu hơn với hạt nhân và các điện tử chung quanh, cho nên chỉ cần cung cấp một năng lượng nhỏ (nhờ nhiệt độ, ánh sáng ...) điện tử này sẽ thoát khỏi trạng thái ràng buộc trở thành điện tử tự do.

Như vậy, tạp chất hóa nhóm 5 cung cấp điện tử cho chất bán dẫn ban đầu nên được gọi là tạp chất cho. Chất bán dẫn có pha tạp gọi là bán dẫn loại N

Gọi n_n là mật độ điện tử, p_n là mật độ lỗ trống trong tạp chất N thì $n_n \gg p_n$

b. Chất bán dẫn tạp loại P

Khi pha tạp chất có hóa trị 3 trong bảng hệ thống tuần hoàn vào chất bán dẫn thuần theo một tỉ lệ thích hợp tạo nên chất bán dẫn tạp loại P. Khi tham gia vào mạng tinh thể của chất cơ bản chỉ tạo nên 3 mỗi liên kết hoàn chỉnh.



Hình 1.4 Mạng tinh thể của bán dẫn P

Gọi n_p là mật độ điện tử, p_p là mật độ lỗ trống trong tạp chất P thì $n_p \ll p_p$

1.1.4. Dòng điện trong chất bán dẫn:

Trong chất bán dẫn có 2 thành phần dòng điện: dòng điện khuếch tán và dòng điện trôi.

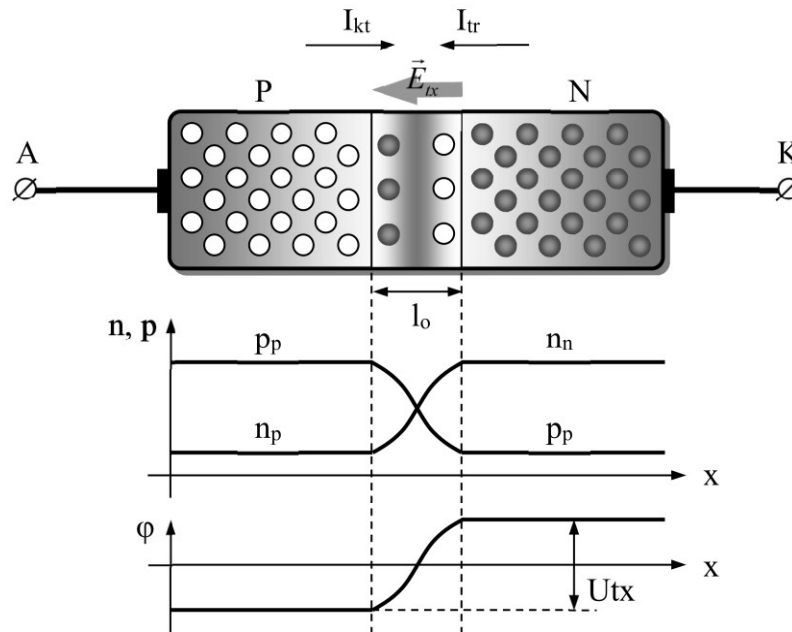
a. *Dòng điện khuếch tán*: Khi nồng độ điện tử hoặc lỗ trống phân bố không đồng đều, chúng sẽ khuếch tán từ nơi có nồng độ cao về nơi nồng độ thấp. Dòng điện do chuyển động có hướng này gây ra gọi là *dòng điện khuếch tán*.

b. *Dòng điện trôi*: là dòng điện chuyển động của các hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường. Khi chịu tác của điện trường, các hạt dẫn trên đường chuyển động có gia tốc sẽ va chạm với các nguyên tử của mạng tinh thể sẽ làm thay đổi trị số và chiều của vận tốc nghĩa là làm tán xạ chúng.

Như vậy, trong chất bán dẫn tồn tại 2 thành phần là dòng khuếch tán (I_{kt}) do sự chênh lệch nồng độ hạt dẫn và dòng trôi (I_{tr}) do sự chuyển dịch của các hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường.

1.1.5 Tiếp xúc P-N

a. *Tiếp xúc P-N chưa phân cực*



Hình 1.5 Tiếp xúc P-N khi chưa phân cực

Do chênh lệch về nồng độ hạt dẫn giữa 2 miếng bán dẫn P và N ($p_p \gg n_p, n_n \gg p_n$), nên xảy ra hiện tượng khuếch tán hạt dẫn điện: lỗ trống khuếch tán từ miền P sang N, điện tử khuếch tán từ miền N sang miền P và hình thành nên dòng I_{kt} có chiều như hình vẽ. Trong quá trình khuếch tán các hạt dẫn trái dấu sẽ tái hợp với nhau. Kết quả làm cho miền P thu hẹp lại tạo thành vùng ion âm, miền N thu hẹp tạo thành

vùng ion dương. Như vậy, giữa bề mặt tiếp xúc P-N đã có sự chênh lệch điện thế gọi là hiệu điện thế tiếp xúc.

$$U_{tx} = 0,2V \text{ đến } 0,4V \text{ (Ge)}$$

$$= 0,6V \text{ đến } 0,8V \text{ (Si)}$$

Hiệu điện thế tiếp xúc này sẽ sinh ra một điện trường gọi là điện trường tiếp xúc (E_{tx}) có chiều như hình vẽ. E_{tx} có tác dụng ngăn cản sự khuếch tán của các hạt dẫn đa số.

Do tồn tại E_{tx} mà các hạt dẫn thiểu số sẽ bị cuốn về hai phía đối diện tạo nên dòng điện trôi (I_{tr}) ngược chiều với I_{kt} .

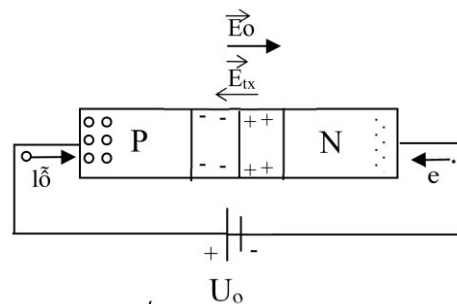
Quá trình cân bằng động xảy ra khi $I_{tr} = I_{kt}$ và hình thành một vùng *điện tích không gian* hay còn gọi là *vùng nghèo*.

Dòng điện qua diode lúc này $I_A = 0$.

a. Tiếp xúc P-N phân cực thuận

Điện trường ngoài E_o tập trung chủ yếu trong miền điện tích không gian có chiều ngược chiều với E_{tx} (từ P sang N). Theo nguyên lý xếp chồng, điện trường tổng

$\vec{E}_t = \vec{E}_{tx} + \vec{E}_o$ hay $E_t = E_{tx} - E_o$. Vậy cường độ điện trường tổng $E_t < E_{tx}$, độ rộng vùng nghèo giảm, làm tăng chuyển động khuếch tán của hạt đa số (I_{kt} tăng, I_{tr} giảm). Người ta nói đó là hiện tượng phun hạt dẫn đa số qua tiếp xúc P-N và trường hợp này gọi là phân cực thuận cho tiếp xúc P-N



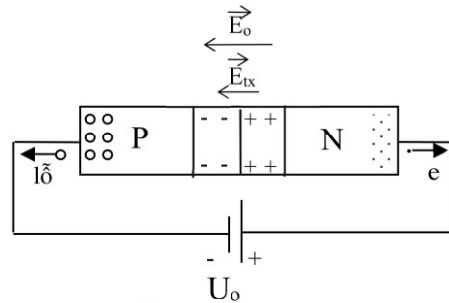
Hình 1.6 Tiếp giáp P-N khi phân cực thuận

Dòng điện chạy qua trong trường hợp này có giá trị rất lớn và gọi là dòng điện thuận. Điện trở tương ứng trong trường hợp này có giá trị rất nhỏ và gọi là điện trở thuận.

b. Tiếp xúc P-N chưa phân cực nghịch

Điện trường ngoài E_o cùng chiều với E_{tx} (từ P sang N). Khi đó cường độ điện trường tổng $\vec{E}_t = \vec{E}_{tx} + \vec{E}_o$ hay $E_t = E_{tx} + E_o > E_{tx}$ độ rộng vùng nghèo tăng lên, cản trở

chuyển động khuếch tán, dòng điện I_{kt} giảm đến 0, dòng trôi I_{tr} tăng chút ít và nhanh chóng đạt giá trị bão hòa được gọi là dòng ngược bão hòa. Trường hợp này gọi là phân cực nghịch cho tiếp xúc P-N.



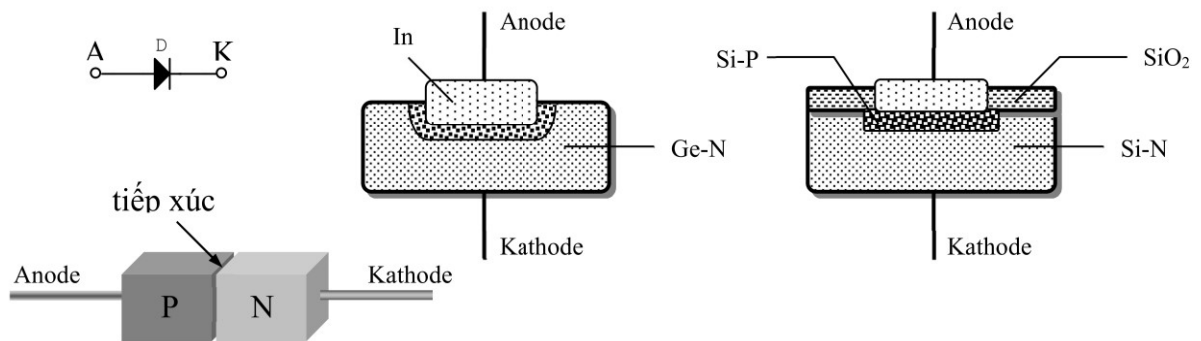
Hình 1.7 Tiếp giáp P-N khi phân cực nghịch

Dòng điện chạy qua trong trường hợp này có giá trị rất nhỏ (xem như bằng 0) và gọi là dòng điện nghịch. Điện trở tương ứng trong trường hợp này có giá trị rất lớn và gọi là điện trở nghịch.

1.2 Diode bán dẫn thông thường

1.2.1 Cấu tạo, ký hiệu

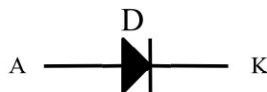
Diode có cấu tạo gồm 2 miếng bán dẫn P và N ghép với nhau, có 2 điện cực nối ra ngoài, điện cực nối với miếng bán dẫn P được gọi là Anod, điện cực nối với miếng bán dẫn N được gọi là Katod và có vỏ bảo vệ.



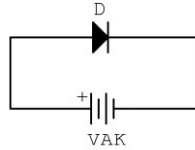
Hình 1.8 Cấu tạo và ký hiệu diode bán dẫn thông thường

1.2.2 Nguyên lý hoạt động

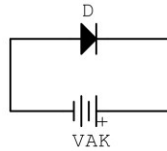
- Khi diode chưa phân cực không có dòng điện chạy qua.



- Khi diode phân cực thuận sẽ có dòng điện I_A chạy qua diode theo chiều từ A sang K.



- Khi diode phân cực nghịch điện qua diode $I_A = 0$.



1.2.3 Đặc tuyến V-A

I : vùng phân cực thuận (OC)

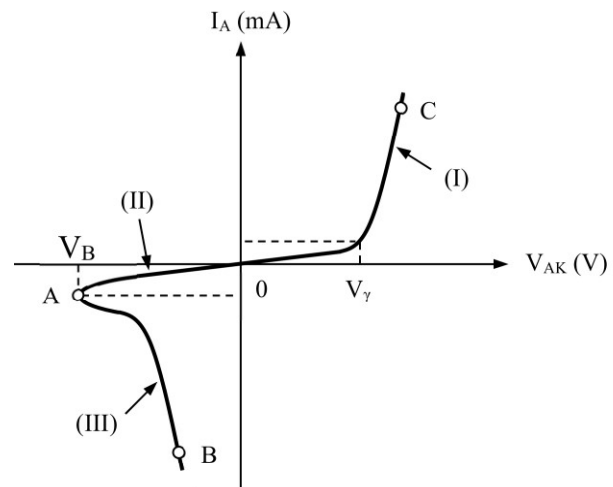
II : vùng phân cực ngược (OA)

III : vùng bị đánh thủng (AB)

V_B : điện thế đánh thủng

V_γ : điện thế ngưỡng

$$V_\gamma = \begin{cases} 0,2V \div 0,4V & (\text{Ge}) \\ 0,6V \div 0,8V & (\text{Si}) \end{cases}$$



Hình 1.9 Đặc tuyến V-A của diode thông thường

1.2.4 Các tham số đặc trưng kỹ thuật

Để đánh giá, lựa chọn và sử dụng đúng diode ta cần biết các tham số kỹ thuật của nó, để từ đó có thể xác định các chế độ làm việc với các đại lượng đặc trưng là dòng điện, điện áp và công suất.

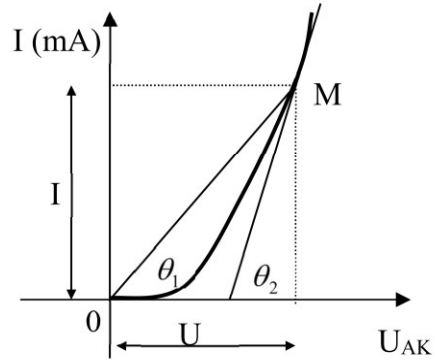
** Điện trở tĩnh R_0*

Điện trở tĩnh hay điện trở một chiều là điện trở của diode khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều.

$$R_0 = \frac{U}{I}$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{I}{U} = \theta_1 = \frac{1}{R_0}$$

R_0 chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến Von-ampe tại điểm làm việc tĩnh (góc θ_1). Như vậy R_0 không phải là một giá trị cố định, nó phụ thuộc vào trị số điện áp và dòng điện.



Hình 1.10 Xác định điện trở một chiều và điện trở động của diode

** Điện trở động R_i*

R_i là nghịch đảo của góc nghiêng của tiếp tuyến với đặc tuyến Von-ampe, nghĩa là tỉ lệ với cotg góc nghiêng của đường tiếp tuyến Von-ampe tại điểm làm việc của diode, góc θ_2 .

$$R_i = \frac{dU}{dI} = \frac{\eta V_T}{I_0 e^{\frac{U}{\eta V_T}}} = \frac{\eta V_T}{I + I_0} = \cot g \theta_2$$

Do đặc tính dẫn điện một chiều của diode nên $I \gg I_0$ và $\left| \frac{U}{\eta V_T} \right| \gg 1$, do đó

$$R_i = \frac{\eta V_T}{I}$$

Do $\theta_2 > \theta_1$ nên $R_0 > R_i$

** Hệ số chỉnh lưu k*

Hệ số chỉnh lưu là thông số đặc trưng cho độ phi tuyến của diode và xác định bằng biểu thức sau:

$$k = \frac{I_{th}}{I_0} = \frac{R_{0nguoc}}{R_{0thuan}} \text{ khi } U_{AK} = \pm 1V$$

** Điện dung C_d của diode*

Điện dung của chuyển tiếp P - N gồm 2 thành phần:

$$C_d = C_{pn} + C_{kt}$$

Với: C_{pn} là điện dung bản thân hay điện dung rào thế của chuyển tiếp P - N

C_{kt} là điện dung khuếch tán của chuyển tiếp P - N

** Điện áp ngược cực đại cho phép*

$U_{ngược\ max}$ là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên diode mà nó vẫn làm việc bình thường. Trị số này thường được chọn là $0,8U_{dt}$ với U_{dt} là điện áp đánh thủng diode.

Tuỳ theo cấu tạo của diode mà U_{ngmax} có thể từ vài Volt tới 10000 Volt.

** Khoảng nhiệt độ làm việc:*

Đây là khoảng nhiệt độ bảo đảm cho diode làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của diode. Khi diode làm việc, dòng điện chạy qua nó sẽ làm cho diode nóng lên, điện năng biến thành nhiệt năng. Công suất cực đại mà diode có thể chịu được là:

$$P_{tt\ max} = I_{\max} \cdot U_{AK\ max}$$

$$\text{hoặc là: } P_{tt\ max} = P_{\max}(20^0) \cdot \frac{t_{\max}^0 - t_0^0}{t_{\max}^0 - 20^0} \text{ với } t_{\max}^0 \text{ là nhiệt độ cho phép cực đại của}$$

chuyển tiếp P - N và t_0^0 là nhiệt độ môi trường

Như vậy nhiệt độ môi trường tăng thì P_{ttmax} sẽ giảm. Khoảng nhiệt độ làm việc của diode Ge là -60^0C đến $+85^0C$; Si là -60^0C đến 150^0C

** Dòng điện chỉnh lưu trung bình cực đại I_F ($I_{FORWARD}$):*

- Dòng điện I_F là dòng điện chỉnh lưu trung bình lớn nhất chạy qua diode khi phân cực thuận.

- Dòng điện I_F phụ thuộc vào diện tích tiếp xúc PN và điều kiện toả nhiệt cho Diode.

- Khi sử dụng diode yêu cầu: $I_{TB} < I_F$ (I_{TB} gọi là dòng điện trung bình).

** Điện áp ngược cực đại U_R (U_{revese}):*

- Điện áp U_R là điện áp ngược lớn nhất cho phép đặt vào Diode.

- Trong khi sử dụng Diode yêu cầu: $U_R = \frac{U_B}{2}$ (U_B gọi là điện áp đánh thủng)

** Dòng điện ngược I_R*

- Dòng điện I_R là dòng điện ngược chạy qua Diode khi nó chưa bị đánh thủng.

- Khi sử dụng Diode yêu cầu I_R càng nhỏ càng tốt.

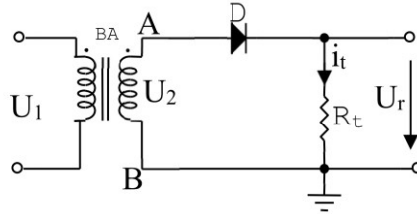
** Tần số công tác*

- Tần số công tác là tần số làm việc giới hạn của Diode. Nếu quá giới hạn cho phép thì Diode mất đặc tính chỉnh lưu.

- Tần số công tác bị giới hạn do điện dung tiếp xúc và điện dung khuếch tán của Diode.

1.2.5 Mạch ứng dụng

a. Chỉnh lưu nửa chu kỳ



Hình 1.11 Mạch chỉnh lưu nửa chu

Nguyên lý hoạt động :

Giả sử ở nửa chu kỳ đầu điện áp đặt vào cuộn thứ cấp của biến áp U_2 có thể + ở A và - ở B. Diode được phân cực thuận nên diode thông. Có dòng điện chạy từ A $\rightarrow$ diode $\rightarrow R_t$ về B kín mạch. Điện áp sụt trên tải U_{Rt} có giá trị: $U_r = I_t \cdot R_t = U_2 - I_a \cdot R_i$

I_a : dòng qua diode. R_i : điện trở thuận của diode rất nhỏ coi bằng 0 nên $I_a \cdot R_i \approx 0$.

$$\text{Vì vậy : } U_r = U_2 = I_t \cdot R_t \rightarrow I_t = \frac{U_2}{R_t}$$

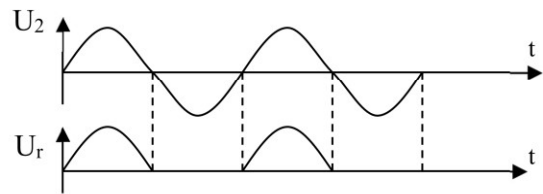
- Ở nửa chu kỳ sau: điện áp trên cuộn thứ cấp của biến áp có thể dương ở B và âm ở A. nên diode D bị phân cực nghịch, diode không dẫn điện : $I_t = 0$ nên $U_r = I_t \cdot R_t = 0$

Khi diode không dẫn điện trên 2 cực của diode phải chịu một điện áp ngược có trị số bằng trị số cực đại của điện áp thứ cấp U_2 : $U_{ng} = U_{2\max} = \sqrt{2} \cdot U_o$

U_o : giá trị hiệu dụng

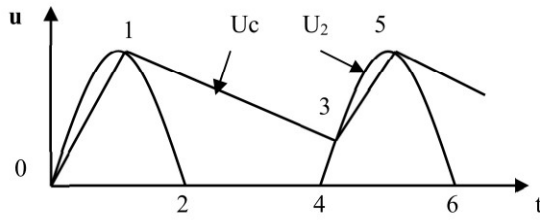
Giá trị trung bình của điện áp trên tải được xác định:

$$U_r = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.45 U_2$$

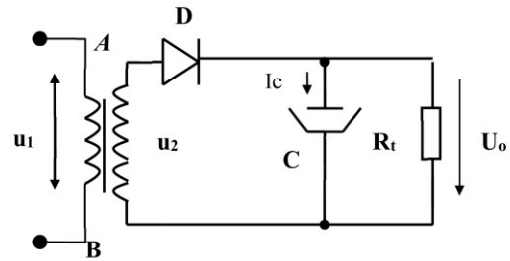


Hình 1.12 Dạng sóng của mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ

Trường hợp có tụ C :



Hình 1.14 Dạng sóng của mạch lọc dung tính



Hình 1.13 Mạch chỉnh lưu 1 nửa chu kỳ có tụ lọc

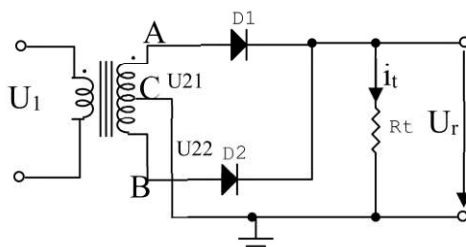
Nguyên lý làm việc

Nhờ có tụ C mà mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ đưa ra được 1 điện áp không bị ngắt quãng, bằng phẳng hơn. Tụ C lại mắc song song với tải nên điện áp trên tải cũng không bị ngắt quãng.

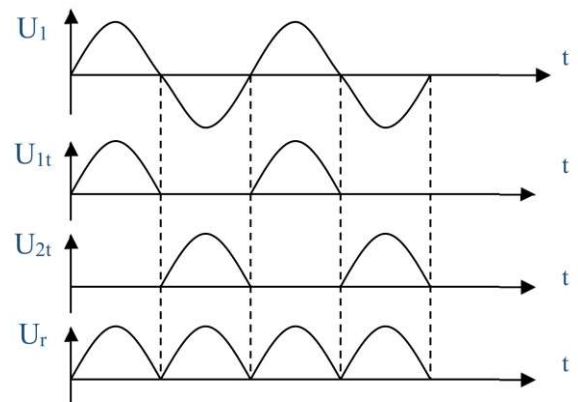
Mạch lọc điện dung được ứng dụng trong trường hợp phụ tải nhỏ (nghĩa là R_t lớn). Điện dung sẽ được chọn sao cho dung kháng của nó ở tần số công nghiệp phải nhỏ hơn nhiều so với R_t nghĩa là :

$\frac{1}{P\omega C} \ll R_t$ với $\omega = 2\pi f$, P: hệ số phụ thuộc vào sơ đồ chỉnh lưu, mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ $P=1$, hai nửa chu kỳ $P=2$.

b. Mạch chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ



Hình 2.15 Mạch chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ



Hình 1.16 Dạng sóng của mạch chỉnh lưu cả chu kỳ

Nguyên lý hoạt động :

- Giả sử ở nửa chu kỳ dương của U_1 , U_{21} có nửa chu kỳ dương và U_{22} có nửa chu kỳ âm. Lúc này D_1 phân cực thuận, D_1 thông, trong mạch có dòng I_{t1} đi từ : $+A \rightarrow D_1 \rightarrow R_t \rightarrow -C$ kín mạch. Điện áp ra trên tải lúc này: $U_r = I_{t1} \cdot R_t$

D_2 phân cực ngược nên D_2 tắt, lúc này D_2 chịu một điện áp ngược:
 $U_{ng_{D_2}} = U_r + U_{CB} = 2\sqrt{2}U_o$

- Ở nửa chu kỳ âm của U_1 ngược lại D_2 phân cực thuận nên D_2 dẫn điện. Trong mạch có dòng điện I_{t2} chạy từ $+B \rightarrow D_2 \rightarrow R_t$ về $-C$ kín mạch. Điện áp ra trên tải: $U_r = I_{t2} \cdot R_t$.

Đồng thời D_1 phân cực ngược, D_1 tắt, điện áp ngược đặt trên D_1 lúc này là:

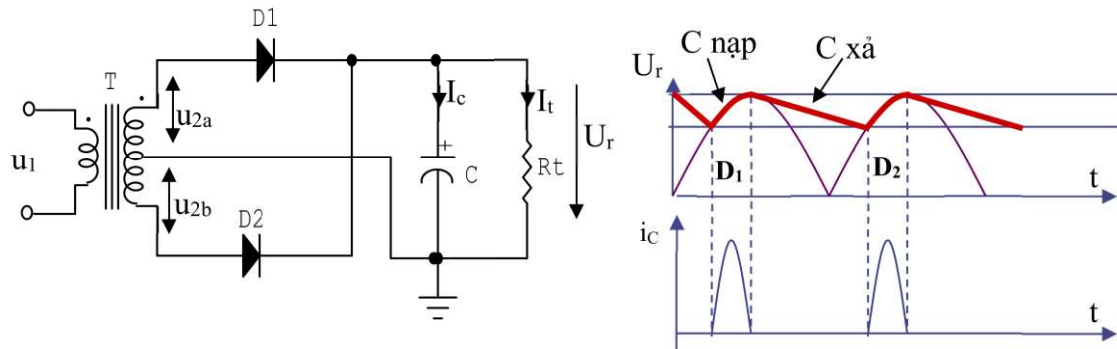
$$U_{ng} = U_r + U_{AC} = 2\sqrt{2}U_o$$

Giá trị trung bình của điện áp trên tải được xác định:

$$U_r = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.9U_2$$

* Trường hợp có tụ C:

Nguyên lý hoạt động:



Hình 1.17 Mạch lọc điện dung và dạng sóng

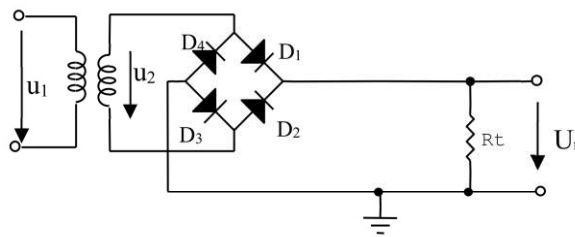
- Ở bán kỳ dương: D_1 dẫn, C nạp đến điện áp đỉnh U_2 , D_1 phân cực nghịch, D_1 tắt, C xả dòng qua tải làm cho điện áp trên tụ C giảm xuống đến giá trị nhỏ hơn U_2 .

- Ở bán kỳ âm: D_2 dẫn, C lại nạp điện và đến giá trị đỉnh U_2 , D tắt, C lại xả dòng ra tải...

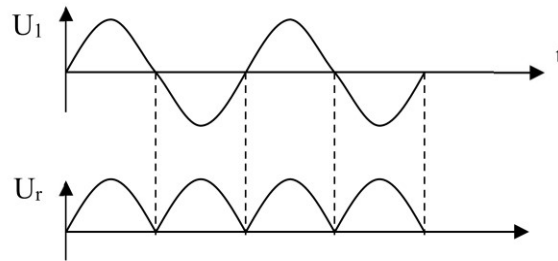
Như vậy nhờ có tụ C mà tín hiệu ra tải được bằng phẳng hơn.

Tụ có trị số điện dung càng lớn thì chất lượng lọc càng tốt.

c. *Mạch chỉnh lưu dùng cầu Diode*



Hình 1.18 Mạch chỉnh lưu cầu



Hình 1.19 Dạng sóng mạch chỉnh lưu cầu

Nguyên lý hoạt động

Ở nửa chu kỳ dương của điện áp vào U_2 : Điện áp trên cuộn thứ cấp có thể dương ở A, âm ở B. Lúc này D_1, D_3 phân cực thuận nên D_1, D_3 thông. Trong mạch có dòng I_{t1} chạy từ $+A \rightarrow D \rightarrow R_t \rightarrow D_3 \rightarrow -B$ kín mạch. Điện áp ra trên tải: $U_{rT} = U_{AB} - (U_{D1} + U_{D3}) = I_{t1} \cdot R_t$. Đồng thời D_2, D_4 phân cực ngược nên D_2, D_4 tắt, U_{ng} đặt vào mỗi diode xấp xỉ bằng biên độ cực đại của điện áp xoay chiều U_2 (U_0 là điện áp hiệu dụng) $U_{ngD4} = U_{ngD2} = U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_0$

- Ở nửa chu kỳ âm của U_2 : B dương và A âm. D_2, D_4 phân cực thuận; D_2, D_4 thông. Có dòng I_{t2} đi như sau: $+B \rightarrow D_2 \rightarrow R_t \rightarrow D_4 \rightarrow -A$ kín mạch. Điện áp ra trên tải: $U_r = U_{AB} - (U_{D2} + U_{D4}) = I_{t2} \cdot R_t$

Đồng thời D_1, D_3 phân cực ngược nên D_1, D_3 tắt, nó chịu một điện áp ngược: $U_{ngD1} = U_{ngD3} = U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_0$

Trường hợp có tụ C (tương tự như mạch dùng 2 diode)

1.3 Zener diode

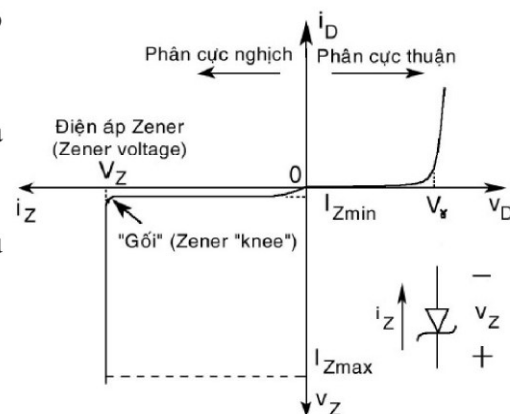
+ Cấu tạo giống diode chỉnh lưu nhưng được chế tạo với vật liệu chịu nhiệt và tỏa nhiệt tốt hơn.

+ Đặc tuyến thuận của diode giống như đặc tuyến của diode chỉnh lưu thông thường nhưng đặc tuyến ngược thì lại khác. Khi U_{ng} tăng, lúc đầu dòng điện ngược rất nhỏ như các diode khác nhưng khi tăng đến một trị số nhất định $U_{ng}(A)$ thì xảy ra đột biến dòng ngược tăng đột ngột từ I_{Zmin} đến I_{Zmax} gọi là dòng Zener (I_Z) nhưng điện áp hầu như không đổi. Giá trị điện áp không đổi đó chính là giá trị ổn áp của diode.

- V_Z : giá trị điện áp ổn định (tùy thuộc vào từng loại Zener).

- I_{Zmax} : dòng điện phân cực nghịch tối đa của diode zener

- I_{Zmin} : dòng điện phân cực nghịch tối thiểu để $v_Z = V_Z$ thường $I_{Zmin} = 0.1 I_{Zmax}$

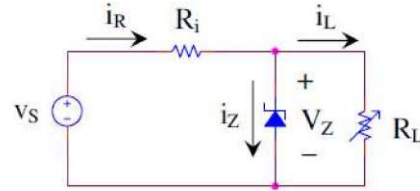


- $P_{Zmax} = V_Z \cdot I_{Zmax}$ công suất tối đa tiêu tán trên diode zener.

+ Ứng dụng : thường dùng để tạo điện áp chuẩn (reference voltage)

+ Mạch ổn áp dùng diode zener :

$$R_i = \frac{v_s - V_Z}{i_Z} = \frac{v_s - V_Z}{i_Z + i_L} \Rightarrow i_Z = \frac{v_s - V_Z}{R_i} - i_L$$



Hai điều kiện cực trị của i_Z :

Hình 1.22 Mạch ổn áp dùng diode zener

1. Dòng i_Z cực tiểu (I_{Zmin}) khi i_L cực đại (I_{Lmax}) và điện áp nguồn V_s cực tiểu (V_{Smin}).
2. Dòng i_Z cực đại (I_{Zmax}) khi i_L cực tiểu (I_{Lmin}) và điện áp nguồn V_s cực đại (V_{Smax}).

$$\Rightarrow \min(i_Z) = \frac{V_{Smin} - V_Z}{R_i} - I_{Lmax} \geq I_{Zmin} \quad \text{suy ra} \quad R_i \leq \frac{V_{Smin} - V_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

$$\text{và} \quad \max(i_Z) = \frac{V_{Smax} - V_Z}{R_i} - I_{Lmin} \leq I_{Zmax} \quad \text{suy ra} \quad R_i \geq \frac{V_{Smax} - V_Z}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}$$

$$\frac{V_{Smin} - V_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}} \geq R_i \geq \frac{V_{Smax} - V_Z}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}$$

Với yêu cầu về nguồn (v_s) và tải (i_L) cho trước, để chọn R_i cần phải có:

$$\frac{V_{Smin} - V_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}} \geq \frac{V_{Smax} - V_Z}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}, \quad \text{thường} \quad I_{Zmin} = 0.1 I_{Zmax}$$

$$\text{Vì vậy chọn Diode Zener sao cho : } I_{Zmax} \geq \frac{I_{Lmin}(v_Z - v_{smin}) + I_{Lmax}(v_{smax} - v_Z)}{v_{smin} - 0.9v_Z - 0.1.v_{smax}}$$

$$\text{Và } i_{Zmax} \geq i_{Lmax}$$

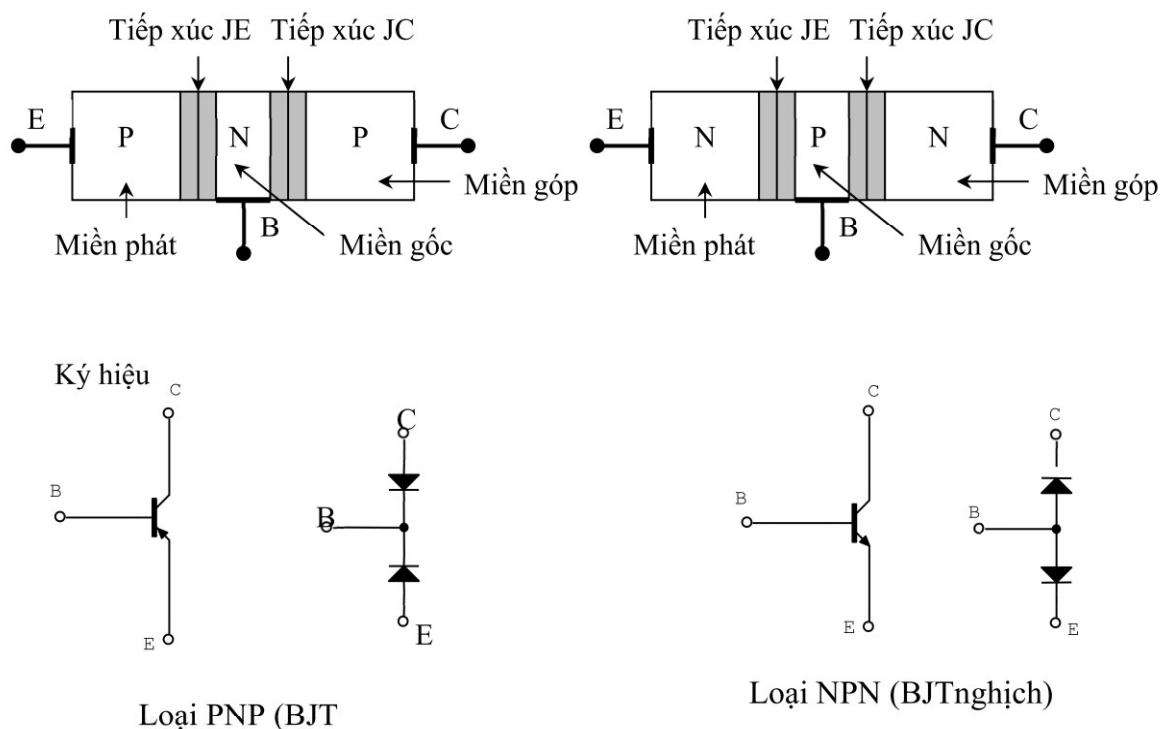
$$\text{Và } I_{Zmin} = 0.1 I_{Zmax} \leq I_{Lmin} \Rightarrow i_{Zmax} \leq 10. I_{Lmin}$$

CHƯƠNG 2: TRANSISTOR LƯỜNG CỰC VÀ MẠCH ỨNG DỤNG

2.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Transistor lưỡng cực còn gọi là BJT (Bipolar Junction Transistor)

2.1.1. Cấu tạo:



Hình 2.1 Cấu tạo và ký hiệu của BJT

Gồm 3 miền bán dẫn P-N sắp xếp xen kẽ nhau, miền bán dẫn ở giữa khác kiểu dẫn điện với 2 miền lân cận. Có 2 loại BJT: loại pnp và loại npn. Miền thứ nhất có nồng độ hạt dẫn rất cao gọi là miền Emitter, điện cực tương ứng với miền này là cực Emitter (ký hiệu bằng chữ E). Miền thứ 2 có nồng độ hạt dẫn rất thấp gọi là miền Base, điện cực tương ứng với miền này là cực Base (ký hiệu chữ B). Miền thứ 3 có nồng độ hạt dẫn thấp hơn so với miền thứ nhất gọi là miền Collector, điện cực tương ứng với miền này là cực Collector (ký hiệu chữ C).

Do cách sắp xếp xen kẽ mà hình thành 2 tiếp xúc: tiếp xúc giữa miền E và miền B gọi là tiếp xúc Emitter (ký hiệu JE), tiếp xúc giữa miền B và miền C gọi là tiếp xúc Collector (ký hiệu JC).

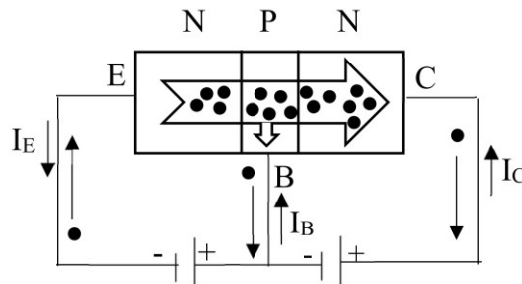
Tuỳ vào chiều điện áp phân cực cho chuyển tiếp emitter và chuyển tiếp collector mà có thể phân biệt 4 miền làm việc của transistor như sau:

J_E	J_C	Miền làm việc	ứng dụng
Phân cực thuận	Phân cực thuận	Miền bão hoà	Khoá điện tử
Phân cực thuận	Phân cực ngược	Miền tích cực	Khuếch đại
Phân cực ngược	Phân cực ngược	Miền cắt	Khoá
Phân cực ngược	Phân cực thuận	Miền tích cực ngược	

2.1.2 Nguyên lý hoạt động của BJT (ở chế độ khuếch đại)

Đây là chế độ làm việc thông dụng nhất của transistor. Trường hợp này transistor đóng vai trò là phần tử tích cực có khả năng khuếch đại hay nói cách khác, trong transistor có quá trình điều khiển dòng, điện áp hay công suất.

Nói chung, các transistor PNP và NPN có thể hoạt động như nhau trong các mạch điện tử nhưng có điểm khác biệt là đảo chiều sự phân cực điện áp và hướng của dòng điện. Do vậy, ở đây ta chỉ cần xét *nguyên lý hoạt động của BJT loại NPN* (loại PNP tương tự).



Hình 2.2 Nguyên lý hoạt động của BJT loại NPN

+ Trong trường hợp chưa có điện áp ngoài đặt vào các chuyển tiếp emitor và collector thì qua các cực của transistor không có dòng điện, hai chuyển tiếp ở trạng thái cân bằng. Hiện tượng không có dòng chảy qua transistor cũng xảy ra khi đặt điện áp lên cực C và E nhưng cực B để hở.

+ Khi phân cực cho transistor, trạng thái cân bằng ban đầu bị phá vỡ. J_E được phân cực thuận nên các hạt đa số trong emitor (là điện tử) tăng cường khuếch tán sang base. Khi này hạt đa số trong base (là lỗ trống) cũng khuếch tán sang emitor nhưng do nồng độ pha tạp trong base ít nên thành phần ngược này không đáng kể. Các hạt đa số của emitor phun vào base và trở thành các hạt thiểu số trôi. Do chênh lệch nồng độ mà chúng sẽ khuếch tán tới bờ miền điện tích không gian của chuyển tiếp J_C . Tại đây do chuyển tiếp J_C phân cực ngược nên sẽ cuốn trôi các hạt thiểu số sang miền collector. Nếu sự phân cực vẫn tiếp tục được duy trì thì rõ ràng trên 3 cực của transistor sẽ xuất hiện dòng điện.

Có thể biểu diễn các thành phần dòng điện và điện áp trong transistor như sau:
Dòng điện cực emitor I_E khi đi vào miền base, một phần tái hợp với lỗ trống, phần còn lại sẽ qua J_C sang miền collector và tạo nên dòng cực góp I_C . Khi đó ta có:

$$I_C = \alpha I_E$$

với α là hệ số truyền đạt dòng điện (hay hệ số khuếch đại dòng điện cực phát)

α = số điện tử không bị tái hợp / tổng số điện tử xuất phát từ cực emitor

$$\alpha \approx 0,95 \div 0,999$$

Ngoài ra, qua chuyển tiếp J_C còn có thành phần dòng điện ngược do bản thân J_C phân cực ngược. Đây là dòng của hạt thiểu số của miền base chuyển động dưới tác động của điện trường. Dòng điện ngược này còn gọi là dòng rò cực base I_{CB0} . I_{CB0} không phụ thuộc vào dòng I_E nên không điều khiển được, nó phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và là thành phần dòng không cần thiết.

Vậy dòng tổng qua cực góp thực chất là: $I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$

Dòng điện cực gốc I_B là dòng điện tử và lỗ trống tái hợp nhau trừ đi thành phần dòng ngược I_{CB0}

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

Như vậy quan hệ giữa các thành phần dòng trong transistor là:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \text{gọi là hệ số truyền đạt của transistor}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{gọi là hệ số khuếch đại của transistor (giá trị từ vài chục}$$

tới vài trăm, giá trị điển hình 50 – 150)

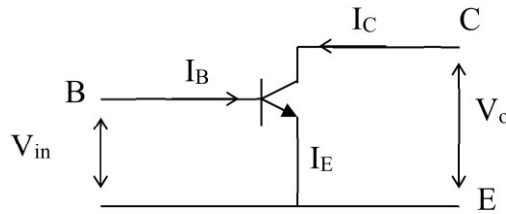
β là thông số đánh giá tác dụng điều khiển của dòng I_B tới dòng I_C

Hai tham số α và β có giá trị xác định đối với mỗi loại transistor và được ghi trong bảng thông số kỹ thuật.

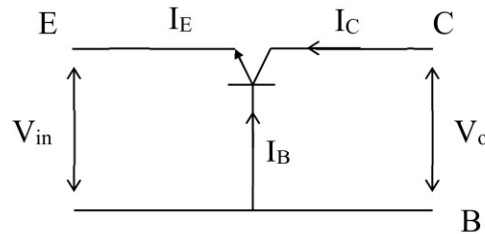
2.2 Các cách mắc cơ bản của BJT trong tầng khuếch đại

Do transistor là linh kiện bán dẫn có 3 cực. Khi sử dụng sẽ đưa tín hiệu vào giữa 2 cực và lấy ra giữa 2 cực, do đó có 1 cực chung cho cả lối vào và lối ra. Dựa vào tính chất này người ta phân biệt có 3 cách ráp mạch cơ bản : Common Emitter (CE), Common Base (CB), Common Collector (CC).

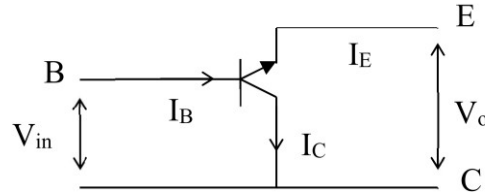
- Mắc Emitter chung : CE



- Bazo chung : CB



- Mắc Colector chung : CC



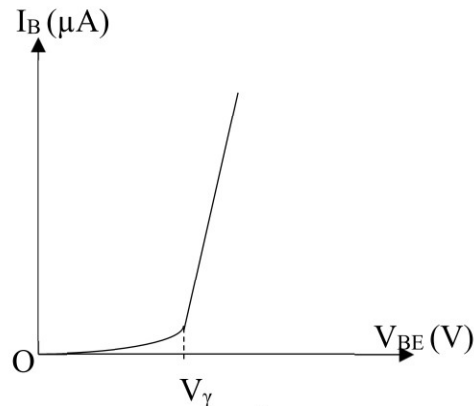
Hình 2.3 Các cách mắc cơ bản của BJT trong mạch khuếch đại

2.3 Đặc tuyến V-A của BJT

Để diễn tả mối tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT, người ta dùng đặc tuyến V-A. Sau đây chỉ trình bày 3 loại đặc tuyến thường được sử dụng trong các kiểu sơ đồ cơ bản trên. Trong các kiểu mắc cơ bản trên thì loại CE được dùng nhiều nhất, do đó ta chủ yếu khảo sát đặc tuyến của mạch này.

2.3.1 Đặc tuyến ngõ vào $I_B = f(V_{BE})$:

Đặc tuyến ngõ vào là đặc tuyến chỉ sự quan hệ giữa dòng điện I_B theo điện thế phân cực V_{BE}



Hình 2.4 Đặc tuyến ngõ vào của

2.3.2 Đặc tuyến ngõ ra $I_C = f(V_{CE})$:

Lần lượt đặt $I_C = 10\mu A$, mỗi lần tăng $10\mu A$. Thay đổi V_{CE} , đo I_C . Mỗi thông số I_B cho một đặc tuyến chỉ rõ sự thay đổi của I_C theo V_{CE} .

+ Phần bên trái: ứng với trạng thái bão hoà của BJT, ta có: $V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$

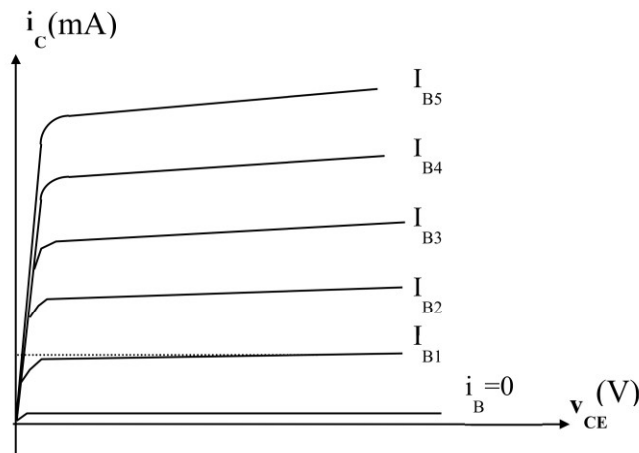
J_E : phân cực thuận thì V_{BE} ít thay đổi $\Rightarrow V_{CB}$ phụ thuộc V_{CE}

Khi V_{CE} giảm để trị số rất bé ($0,1 - 0,2V$) $\Rightarrow V_{CB} \approx 0$. V_{CE} tiếp tục giảm $\Rightarrow V_{CB}$ đổi dấu ($=V_{BC}$): nên J_C được phân cực thuận, lúc này qua C còn có dòng thuận J_C (ngược chiều I_C) làm cho dòng I_C giảm $\Rightarrow$ quá trình tương ứng trạng thái dẫn bão hoà của BJT (Tương ứng J_E , J_C phân cực thuận)

+ Phần bên phải: tương ứng với trạng thái đánh thủng BJT

Vì khi V_{CE} tăng quá lớn làm cho đánh thủng J_C và một phần V_{CE} giúp J_E phân cực thuận tăng $\Rightarrow$ dòng tăng $\Rightarrow$ đánh thủng thác lũ.

+ Phần ở giữa tương ứng trạng thái khuếch đại của BJT đặc tuyến gần như song song trục hoành. Tương ứng J_E phân cực thuận, J_C nghịch.

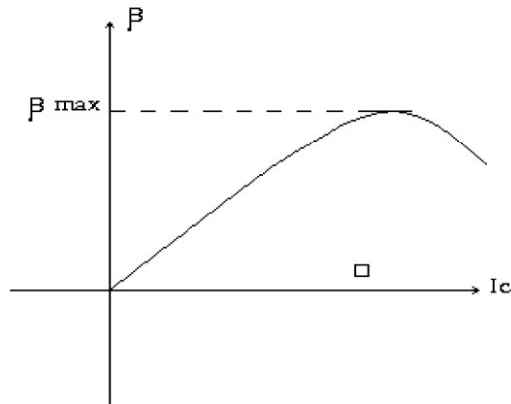


Hình 2.5 Đặc tuyến ra của BJT

2.3.3 Đặc tuyến truyền dẫn $I_C = f(V_{BE})$:

Đặc tuyến $I_C = f(V_{BE})$ có một đoạn tuyến tính thích hợp cho việc áp tín hiệu xoay chiều $V_{be} = V_m \sin \omega t$ vào nền (so với mass E). I_C xoay chiều ra biến thiên tuyến tính theo V_{be} nên dạng sóng ra cũng có dạng hình sin cùng tần số, đồng pha, nhưng biên độ tuần hoàn đã được khuếch đại

$\Rightarrow$ Ta nói Transistor có chức năng khuếch đại tín hiệu.



Hình 2.6 Đặc tuyến truyền dẫn của BJT

Thường ta chọn phân cực sao cho điểm khởi đầu phân cực Q (Quiescent point) ở giữa đoạn tuyến tính, để khi áp tín hiệu xoay chiều đối xứng vào nền thì tín hiệu ra không bị biến dạng.

2.4 Phân cực cho BJT

2.4.1 Các khái niệm

a. Điểm làm việc tĩnh

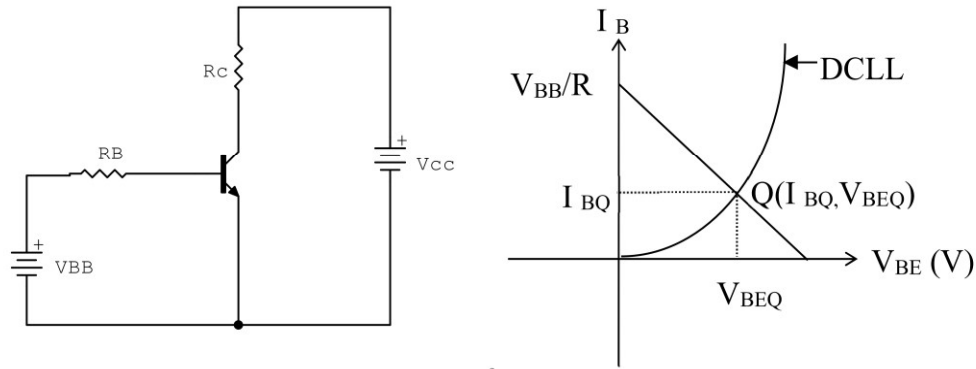
Trong các tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ, điểm làm việc nằm trong miền tích cực của BJT. Ở chế độ tĩnh, trên các cực của BJT có các dòng điện tĩnh I_c , I_B , I_E và điện áp một chiều U_{CE} , U_{BE} . Điểm tĩnh là điểm xác định dòng điện và điện áp một chiều tại các cực của Transistor.

Nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi vị trí của điểm Q có khá nhiều như nhiệt độ thay đổi, sự hoá già của linh kiện theo thời gian hoạt động, sự không ổn định của nguồn cung cấp... Trong đó yếu tố về nhiệt độ là yếu tố thường xuyên tác động và có thể hạn chế được. Do tính chất chung của bán dẫn là đặc tính điện phụ thuộc vào nhiệt độ nên dòng điện và điện áp trên transistor phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Nghĩa là điểm làm việc tĩnh sẽ bị di chuyển khi nhiệt độ thay đổi. Vì vậy, cần phải có những mạch phân cực vừa xác định điểm tĩnh và vừa ổn định điểm tĩnh đó.

b. Đường tải một chiều:

Ta sẽ xác định được các giá trị tức thời nói trên của dòng và áp dựa vào phương pháp đồ thị thông qua dòng tải một chiều. Đường tải một chiều là đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp ngõ ra của Transistor tương ứng với một điện trở tải và nguồn cung cấp V_{CC} .

Xét một mạch khuếch đại CE đơn giản:



Hình 2.7 Điểm làm việc tĩnh

Nguồn V_{BB} cùng R_B tạo điện áp một chiều làm chuyển tiếp J_E phân cực thuận ở một mức nhất định nghĩa là làm cho I_B , V_{BE} có những giá trị xác định (I_{BQ} , V_{BEQ}).

Trên đặc tuyến vào, cặp giá trị (I_{BQ} , V_{BEQ}) này xác định tọa độ điểm Q: được gọi là *điểm làm việc tĩnh ngõ vào của BJT*

Nguồn V_{CC} cùng với R_C tạo điện áp 1 chiều phân cực ngược chuyển tiếp J_C khiến cho dòng I_C , và điện áp V_{CE} ở ngõ ra có những giá trị xác định I_{CQ} và V_{CEQ} . Trên đặc tuyến ra, cặp giá trị (I_{CQ} , V_{CEQ}) này xác định điểm Q của BJT.

Vậy, đối với 1 Transistor, các nguồn V_{BB} , V_{CC} cùng các điện trở R_B , R_C sẽ quyết định giá trị tức thời của dòng và áp trên BJT. Hay nó quyết định điểm làm việc tĩnh của BJT trên đặc tuyến.

Đối với mạch vào $I_B = f(V_{BE})$

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B = -\frac{1}{R_B} V_{BE} + \frac{V_{BB}}{R_B} \quad (*)$$

Đường thẳng này cắt trục hoành tại V_{BB} và cắt trục tung tại $\frac{V_{BB}}{R_B}$ và (*) được gọi là *phương trình đường tải một chiều* (DC load line) của ngõ vào có hệ số góc $a = -\frac{1}{R_B}$

Giao của dòng đặc tuyến ngõ vào và dòng tải 1 chiều xác định giá trị tức thời của dòng và áp trong mạch (I_{BQ} , V_{BEQ}) chính là điểm làm việc tĩnh Q ngõ vào.

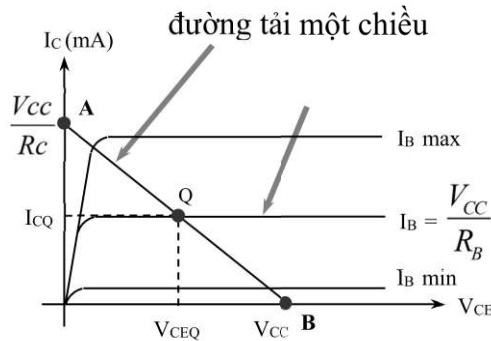
Đối với mạch ra: $I_C = f(V_{CE})$

$$\text{Ta có: } V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$\Rightarrow I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Đường thẳng này cắt trục hoành tại V_{CC} và cắt trục tung tại $\frac{V_{CC}}{R_C}$ được gọi là phương trình đường tải một chiều, có hệ số góc $a = -\frac{1}{R_C}$

Giao điểm đường này và đường đặc tuyến ra xác định điểm làm việc tĩnh ra Q.



Hình 2.8 Đường tải dc

Giao điểm của dòng tải 1 chiều của mạch (vào hoặc ra) với đặc tuyến tĩnh tương ứng của BJT xác định điểm làm việc tĩnh, mà tọa độ của nó chính là dòng và áp tức thời trong mạch. Độ dốc dòng tải 1 chiều có giá trị tuyệt đối bằng nghịch đảo điện trở tải tương ứng.

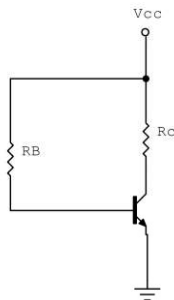
Mạch trên chỉ là một ví dụ đơn giản, trên thực tế, BJT làm việc với nhiều dạng mạch khác và người ta sử dụng tiết kiệm bớt một nguồn nhưng vẫn đảm bảo điện áp phân cực cho chuyển tiếp J_E và J_C để transistor hoạt động ở chế độ mong muốn.

Sự thay đổi các tham số trong mạch có ảnh hưởng đến điểm làm việc Q

2.4.2 Các phương pháp phân cực cho BJT

Để BJT hoạt động ta phải phân cực cho nó, nghĩa là đưa một điện áp một chiều từ bên ngoài vào chuyển tiếp **emitter** và **collector** với một giá trị và cực tính phù hợp. Điện áp một chiều sẽ thiết lập chế độ một chiều cho BJT, khi phân cực nếu:

a. Phân cực bằng dòng cố định



Hình 2.9 Sơ đồ phân cực bằng dòng điện không đổi

* *Xác định điểm làm việc tĩnh Q (V_{CEQ} , I_{CQ})*

Ở ngõ vào ta có: $V_{CC} = V_{BE} + I_B.R_B$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \text{const}$$

$$I_C = \beta . I_B = I_{CQ}$$

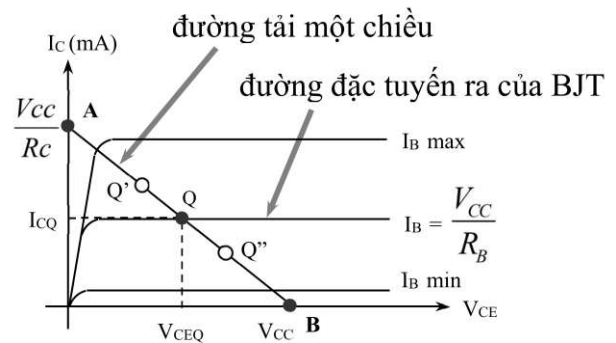
Ở ngõ ra: $V_{CC} = I_C.R_C + V_{CE}$ (phương trình đường tải tĩnh)

$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C.R_C; \quad V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}.R_C$$

$$\Rightarrow Q(V_{CEQ}, I_{CQ})$$

* *Vấn đề ổn định điểm Q khi nhiệt độ thay đổi*

Điểm Q mất ổn định



* *Khắc phục sự mất ổn định của Q*

Hình 2.10 Ổn định điểm làm việc

Khi nhiệt độ môi trường tăng, do những nhân tố tổ như đã nêu trên các dòng I_C , I_E của BJT gia tăng, làm cho điểm tĩnh Q mất ổn định. Với mạch như hình vẽ sau nhờ có thêm điện trở R_E cho nên

$$V_{BE} = V_B - V_E = V_B - I_E . R_E$$

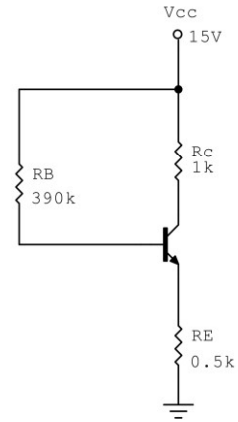
Vì vậy khi nhiệt độ làm I_C , I_E tăng thì đồng thời sẽ làm V_{BE} giảm. Mà điện áp phân cực này giảm sẽ làm giảm các dòng I_B , I_E , I_C nghĩa là hạn chế sự xê dịch điểm Q do nhiệt độ. Ta gọi đây là **tác dụng hồi tiếp âm** của R_E , và R_E được gọi là điện trở ổn. *Xác định điểm làm việc tĩnh Q*

Ngõ vào:

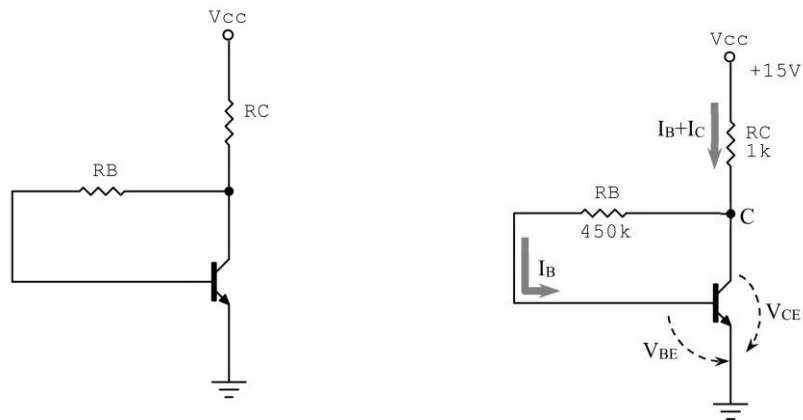
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_E} = \text{const}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = I_{CQ}$$

Ngõ ra: $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E)$



b. Phân cực bằng điện áp phản hồi (phương pháp hồi tiếp)

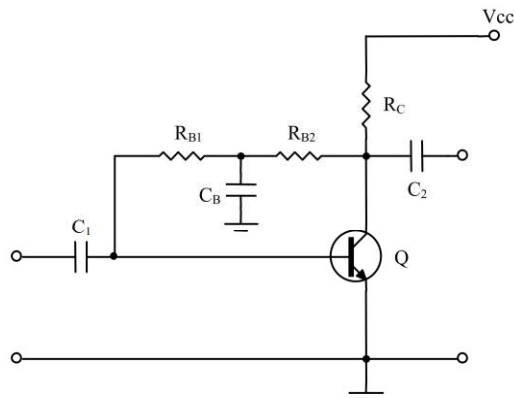


Hình 2.11 Sơ đồ phân cực bằng điện áp phản hồi

Xác định điểm làm việc tĩnh Q (V_{CEQ} , I_{CQ})

Ngõ vào: $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_C} = \text{const}$

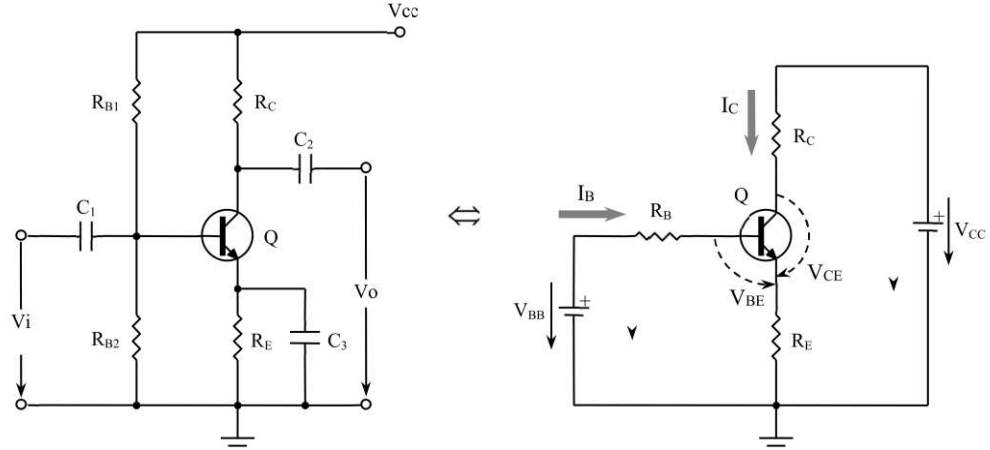
Ngõ ra: $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$



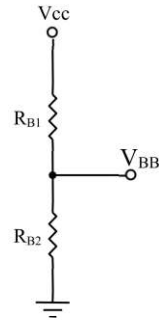
Hình 2.12 Dùng tụ C_B để tránh hiện tượng hồi tiếp tín hiệu xoay chiều

c. Phân cực theo kiểu phân áp

Mạch này dùng 2 điện trở R_{B1} , R_{B2} tạo thành bộ phân áp để phân cực cho ngõ vào. R_E vẫn đóng vai trò ổn định điểm tĩnh (nhờ hồi tiếp âm dòng một chiều). Còn ở ngõ ra, nguồn V_{CC} cung cấp điện áp phân cực V_{CE} qua điện trở R_C và R_E



Hình 2.13 Sơ đồ phân cực kiểu phân áp và mạch tương đương



Hình 2.14 Cầu phân áp

Áp dụng định lý Thevenin về nguồn tương đương, mạch trên được vẽ lại, trong đó:

$$\begin{cases} R_B = R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \\ V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} \end{cases}$$

Xác định điểm làm việc tĩnh Q (V_{CEQ} , I_{CQ})

Ngõ vào:
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_E} \Rightarrow I_C = I_{CQ} = \beta \cdot I_B$$

Ngõ ra:
$$V_{CE} = V_{CC} - (R_E + R_C) \cdot I_C$$

* Vấn đề ổn định điểm làm việc tĩnh

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} \approx V_{BE} + I_E \cdot R_E$$

$$I_B \approx \frac{V_B - V_{BE}}{(1 + \beta) \cdot R_E} \quad (\text{do } R_B \ll (1 + \beta)R_E)$$

Trong thực tế để thỏa mãn điều kiện trên, người ta thường chọn

$$R_{BB} = \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{10} \right) \cdot (1 + \beta) \cdot R_E, \text{ do đó: } I_C = \beta \cdot I_B \approx \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

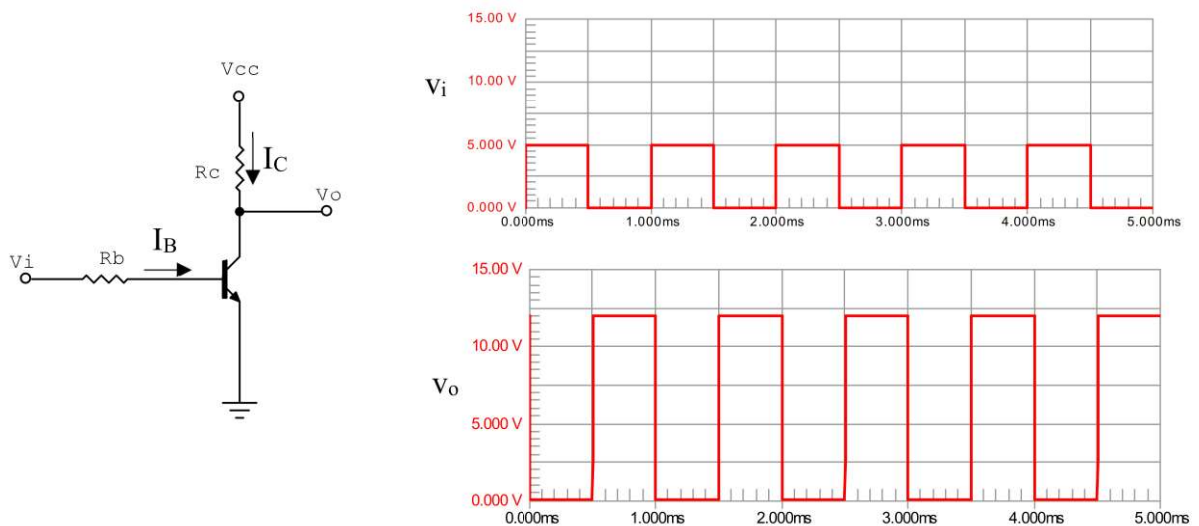
Nghĩa là dòng I_C hầu như không phụ thuộc gì vào β và sự biến động của tham số đó

Giá trị của R_{B1} và R_{B2} được tính theo công thức sau:

$$R_{B1} = \frac{R_B \cdot V_{CC}}{V_{BB}} \quad R_{B2} = \frac{R_B}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}}$$

2.5 Chế độ khóa của BJT

Xét khóa BJT như hình vẽ sau:



Hình 2.15 Khóa BJT và dạng tín hiệu vào/ra

❖ Trạng thái tắt.

BJT có thể làm việc như một Khóa điện tử để đóng (dẫn bão hòa) và ngắt (ngưng dẫn) mạch điện.

Trong trạng thái ngắt, điện áp vào $v_i = 0$ (V), điện áp tại cực B: $V_B = 0$, BJT phân cực ngược nên tắt, trạng thái lúc này của mạch:

$$I_B = 0(A), I_C = \beta \cdot I_B = 0(A), \text{ điện áp ở ngõ ra cực C: } v_o = V_C$$

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - V_{Rc} = V_{CC} - I_C \cdot R_c = V_{CC} (V).$$

Như vậy khi điện áp vào $v_i = 0V$ (hay ở mức thấp) thì điện áp ở ngõ ra $v_o = V_{cc}$ (V) (hay ở mức cao).

❖ Trạng thái dẫn bão hòa.

Để BJT dẫn bão hòa, ta cấp một điện áp vào $v_i > 0$ (V), lúc này điện áp tại cực B đủ lớn để điều khiển Q_1 dẫn bão hòa và được gọi là V_{BEs} , trị số này thay đổi tùy thuộc chất bán dẫn tạo nên BJT.

- $V_{BEs} = 0,8V - 1V$ đối với loại Silicium (Si)
- $V_{BEs} = 0,4V - 0,6V$ đối với loại Germanium (Ge)

Ở trạng thái dẫn bão hòa điện áp ở ngõ ra v_o :

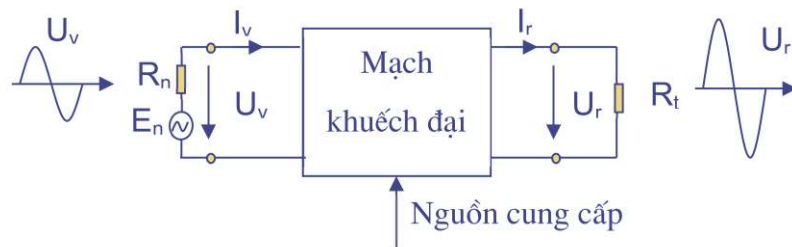
- $v_o = V_{CEs} = 0,2V$

2.6 Mạch ứng dụng của BJT

2.6.1 Mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ

a. Các khái niệm:

Trong thực tế, các tín hiệu phát sinh hoặc các tín hiệu được tạo ra ban đầu thường có biên độ rất nhỏ. Muốn sử dụng được người ta phải làm cho biên độ của tín hiệu lớn lên.



Hình 2.16. Sơ đồ khối của mạch khuếch đại

Hệ số khuếch đại (độ lợi): Hệ số khuếch đại cho biết biên độ của tín hiệu ra được nâng lên bao nhiêu lần so với biên độ của tín hiệu ở đầu vào. Tùy theo tín hiệu cần khuếch đại mà ta có các hệ số khuếch đại điện áp $K_u = \frac{U_r}{U_v}$, hệ số khuếch đại dòng điện $K_i = \frac{I_r}{I_v}$

hệ số khuếch đại công suất $K_p = K_i \cdot K_u$

- Méo phi tuyến

Người ta đã chứng minh rằng, khi tín hiệu đi qua 1 số phần tử có đặc tính phi tuyến transistor, diode... thì các phần tử này sẽ làm phát sinh thêm một số tín hiệu mới. Những tín hiệu này tác động vào tín hiệu mong muốn gây ra méo. Nếu ta đưa vào đầu vào của bộ khuếch đại một tín hiệu có tần số là f_1 thì ở đầu ra sẽ thu được một tập hợp các tín hiệu có tần số $f_1, 2f_1, 3f_1, \dots, nf_1$. Các thành phần $2f_1, 3f_1, \dots, nf_1$ được gọi là các

hài của tín hiệu có tần số f_1 . $2f_1$ được gọi là hài bậc 2, $3f_1$ gọi là hài bậc 3.v.v.. Các thành phần này tác động vào tín hiệu mong muốn (f_1) gây ra méo gọi là méo phi tuyến.

Hệ số méo phi tuyến được xác định bởi hệ số hài bậc cao so với hài cơ bản như sau :

$$\gamma = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}{I_1^2}} = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}}$$

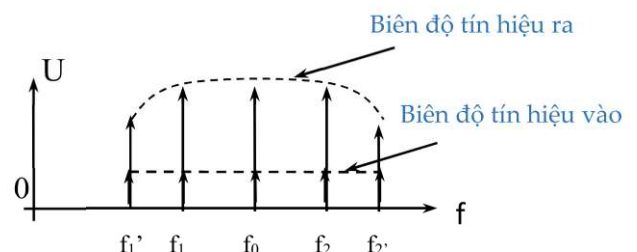
Trong đó : $I_1, I_2, \dots, I_n$ là giá trị dòng điện hiệu dụng của các hài bậc 2, 3, ..., n. I_1 là giá trị biên độ dòng điện hiệu dụng của tín hiệu cơ bản. U_1 là giá trị điện áp hiệu dụng của tín hiệu cơ bản. $U_2, U_3, \dots, U_n$ là giá trị điện áp hiệu dụng của các hài bậc 2, 3, ..., n

Tuy nhiên, có thể giải thích hiện tượng méo phi tuyến một cách dễ hiểu hơn như sau: do transistor có đặc tính phi tuyến nên tín hiệu ra không hoàn toàn tỉ lệ bậc nhất với tín hiệu vào gây ra méo. Méo này gọi là méo phi tuyến.

- Méo tần số

Các bộ khuếch đại thường chỉ khuếch đại tốt các tín hiệu nằm trong một băng tần xác định. Khi có một tín hiệu nằm ngoài băng tần nói trên thì khả năng khuếch đại của mạch bị giảm đi. Do vậy, khi đưa vào mạch khuếch đại một tín hiệu gồm tập hợp nhiều thành phần có tần số khác nhau thì sẽ xảy ra hiện tượng các thành phần đó được khuếch đại với các hệ số khuếch đại khác nhau. Kết quả là nếu ở đầu vào các thành phần đó có biên độ bằng nhau thì ở đầu ra biên độ của chúng sẽ khác nhau làm cho dạng của tín hiệu bị thay đổi. Hiện tượng này gọi là méo tần số.

Méo tần số chủ yếu do các phần tử điện kháng trong bộ khuếch đại gây ra. Hình 4.2 minh họa về hiện tượng méo tần số .



Hình 2.17. Méo tần số

Tín hiệu đầu vào bộ khuếch đại gồm các thành phần tần số liên tục từ f_1 đến f_2 , chúng có biên độ bằng nhau. Trong khi đó, bộ khuếch đại chỉ khuếch đại tốt các tín hiệu nằm trong băng f_1 đến f_2 , kết quả là ở đầu ra của bộ khuếch đại các tín hiệu thành phần có biên độ khác nhau.

- Méo pha

Méo pha là hiện tượng pha của tín hiệu ra khác với pha của tín hiệu vào. Méo pha chủ yếu do các phần tử điện kháng gây ra.

Công suất ra: Công suất ra của bộ khuếch đại là đặc tính cơ bản của bộ khuếch đại đặc biệt là tầng cuối cùng. Công suất ra có liên quan đến vấn đề phối hợp trở kháng. Khi tải là thuần trở công suất ra được xác định: $P_r = \frac{U_r^2}{R_l}$

Hiệu suất (η): Hiệu suất của bộ khuếch đại là tỉ số giữa công suất tín hiệu nhận được ở đầu ra của mạch khuếch đại với công suất mà mạch khuếch đại tiêu thụ của nguồn cung cấp: $\eta = \frac{P_{ra}}{P_o}$

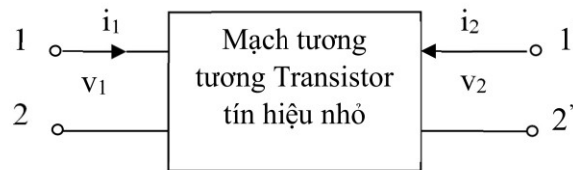
P_{ra} : công suất ra của mạch khuếch đại

P_o : công suất mạch khuếch đại tiêu thụ của nguồn.

η : hiệu suất của bộ khuếch đại

Sơ đồ tương đương

Transistor được xem là một mạng 4 cực :



Hình 2.18. Mạng 4 cực (2 cửa) thay thế cho BTT

Phương trình của mạng 4 cực viết theo thông số h:

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$$

** Ý nghĩa của các tham số :*

Từ hệ PTCB tham số h ta có:

$$h_{11} = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0} = h_i \text{ (input): trở kháng vào khi ngắn mạch xoay chiều ở ngõ ra.}$$

$$h_{12} = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_1=0} = h_r \text{ (reverse): độ lợi điện áp ngược hớ mạch ngõ vào.}$$

$$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{v_2=0} = h_f \text{ (forward): độ lợi dòng thuận ngắn mạch ra.}$$

$$h_{22} = \frac{i_2}{v_2} \Big|_{i_1=0} = \frac{1}{r_o} = h_o \text{ (output): tổng dẫn ngõ ra khi dòng vào hở mạch.}$$

$\Rightarrow h$ được gọi là hệ thông số hỗn hợp, tạp, lai (hybrid)

Mạch tương đương thông số h của BJT:

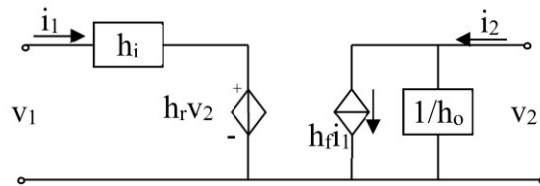
Để phân tích mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ người ta dùng phương pháp thay thế BJT bằng sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ xoay chiều.

Thay các tham số h vào hệ PTCB ta được :

$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2$$

Từ hệ phương trình thông số h ta có được mô hình tương đương như sau:



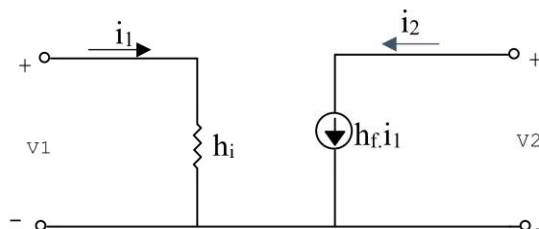
Hình 2.19. Mô hình thông số h của BJT

Tuy nhiên trên thực tế, BJT thường có giá trị h_r rất bé ($h_r \cong 10^{-3} \rightarrow 10^{-4}$) $\Rightarrow h_r v_o \cong 0$, nên nguồn điện áp $h_r v_2$ ở ngõ vào có thể bỏ qua; và h_o cũng thường khá bé ($h_o \cong 10^{-4} - > 10^{-6}$), tức $\frac{1}{h_o} \rightarrow \infty$ nên xem như hở mạch ở nhánh này. Khi phân tích mạch, một cách gần đúng có thể xem $h_o = h_r = 0$. Lúc này hệ phương trình đặc tính thông số h có dạng :

$$v_1 = h_i i_1$$

$$i_2 = h_f i_1$$

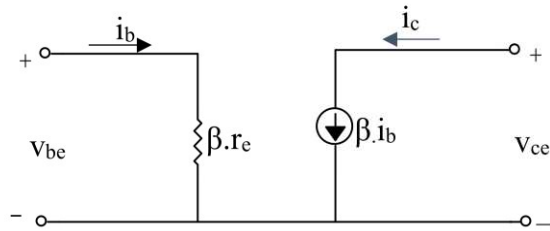
Và nhận được mô hình mạch BJT đơn giản hơn:



Hình 2.20. Mô hình tham số h đơn giản của BJT

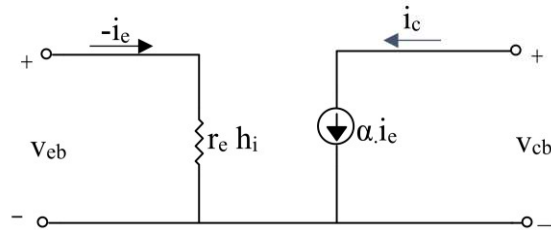
* Với mô hình CE, các thông số $h_i = \beta \cdot r_e$, $h_f = \beta$, $r_e = \frac{V_T}{I_{CQ}}$, tại nhiệt độ phòng

$V_T = \frac{kT}{q} \approx 26mV$ ($k = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$, $T = 273 + 27 = 300^\circ K$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Coulomb}$).



Hình 2.21. Mô hình CE đơn giản của BJT

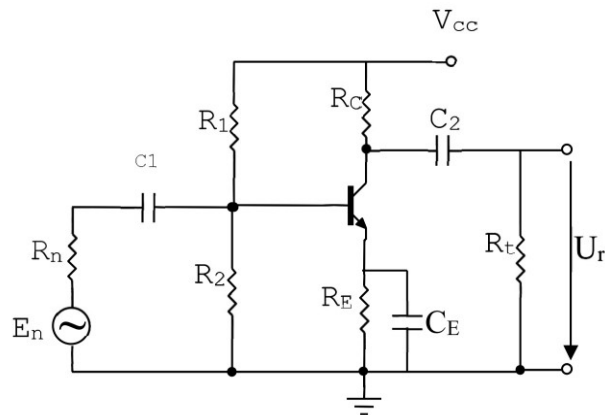
* Với mô hình BC, các thông số $h_i = r_e$, $h_f = \alpha$ như hình vẽ.



Hình 2.22. Mô hình CB đơn giản của BJT

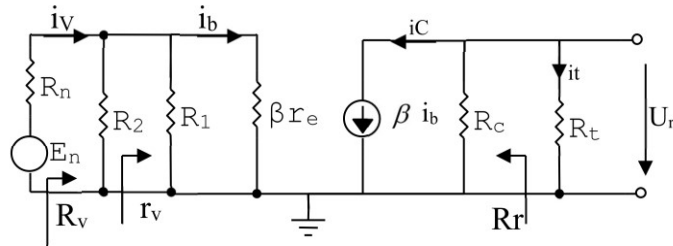
b. Mạch khuếch đại mắc EC

Sơ đồ mạch:



Hình 2.23. Mạch khuếch đại mắc EC

Sơ đồ tương đương của mạch EC



Hình 2.24. Sơ đồ tương đương của mạch mắc EC

r_e : Điện trở của tiếp xúc jE khi phân cực thuận.

βr_e : Nguồn dòng điện phản ánh từ cực B về cực C.

Điện trở vào R_v và điện trở ra R_r của mạch

R_v, r_v : điện trở vào của mạch và điện trở vào của BJT (nhìn từ đầu vào khi ngõ ra ngắn mạch tín hiệu xoay chiều)

$$R_v = R_1 // R_2 // r_v = R_B // r_v \quad (R_B = R_1 // R_2)$$

$$r_v = \frac{V_{BE}}{i_b} = \frac{i_b \cdot \beta r_e}{i_b} = \beta r_e$$

Nhận xét: $R_B \gg \beta r_e$ nên $R_v \approx r_v = \beta r_e$ (khoảng vài trăm Ω)

Điện trở ra của mạch : $R_r \approx R_C$ (khi chưa kể đến tải R_t)

Các hệ số khuếch đại

-Hệ số khuếch đại dòng điện k_i : $k_i = \frac{i_t}{i_v}$

Ta có $U_r = i_t R_t = i_c (R_c // R_t)$

$$\text{Suy ra } i_t = \frac{i_c (R_c // R_t)}{R_t} = \frac{\beta i_b (R_c // R_t)}{R_t} \quad (1)$$

$$U_v = i_v R_v = i_b r_v \Rightarrow i_v = \frac{r_v}{R_v} \cdot i_b \quad (2)$$

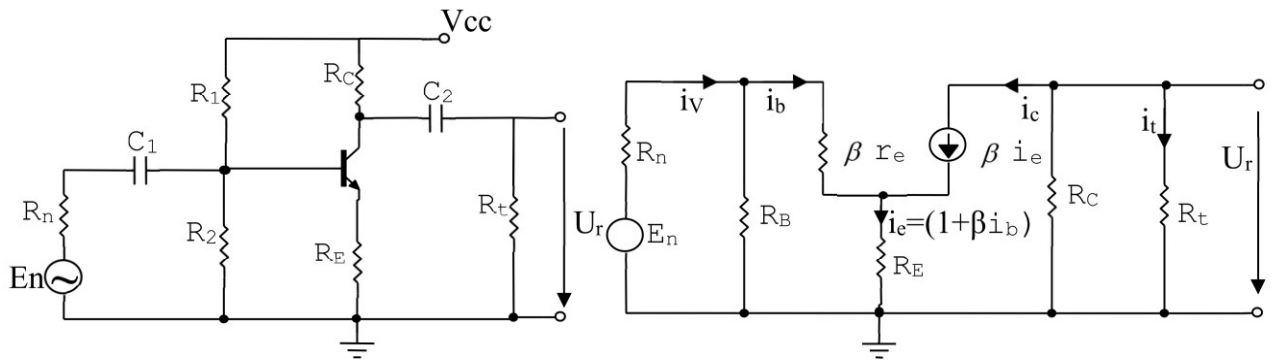
Từ 1 & 2 suy ra $k_i = \beta \frac{R_v}{r_v} \frac{R_c // R_t}{R_t} \approx \beta \frac{R_c // R_t}{R_t}$ (khoảng vài trăm lần)

- Hệ số khuếch đại điện áp k_u :

$$k_u = \frac{U_r}{E_n} = \beta \frac{R_v}{r_v} \cdot \frac{R_c // R_t}{R_n + R_v}$$

$$k_u \approx \beta \frac{R_c // R_t}{R_n + R_v}$$

Trường hợp trong mạch không có tụ C_E



Hình 2.25. Sơ đồ mạch và sơ đồ tương đương mạch mắc EC không có C_E

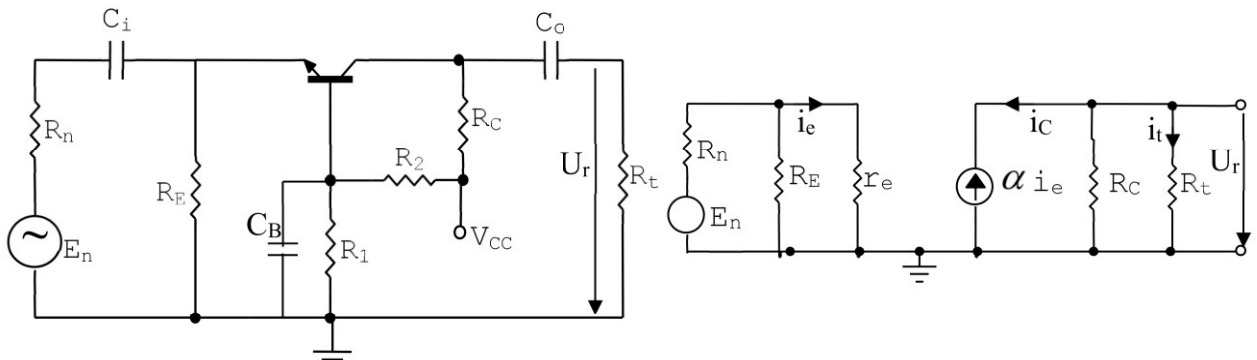
$$R_B = R_1 \parallel R_2$$

Gọi R'_v , r'_v là điện trở vào của mạch và của BJT trong trường hợp này:

$$R'_v = R_B / r'_v, \quad r'_v = \beta r_e + (1 + \beta) R_E$$

$r'_v > r_v$ suy ra $K'_u < K_u$ (Khi không có tụ C_E hệ số khuếch đại của mạch giảm

c. Mạch khuếch đại mắc BC



Hình 2.26. Sơ đồ mạch và sơ đồ tương đương của mạch BC

Điện trở vào R_V : $R_V = R_E \parallel r_v, \quad r_v = \frac{V_{EB}}{i_e} = r_e$

Nhận xét: $R_E \gg r_e$ nên $R_V \approx r_e$ (khoảng vài chục Ω)

Điện trở ra R_r : $R_r \approx R_C$

Hệ số khuếch đại dòng điện: $k_i = \frac{i_t}{i_v}$

Ta có $U_r = i_t R_t = i_c (R_C \parallel R_t)$

Suy ra $i_t = \frac{i_c (R_C \parallel R_t)}{R_t} = \frac{\alpha (R_C \parallel R_t) i_e}{R_t}$ (1)

$$U_v = i_v \cdot R_v = i_e \cdot r_v \Rightarrow i_v = \frac{r_v}{R_v} \cdot i_e \quad (2)$$

$$\text{Từ 1\& 2 suy ra } k_i = \alpha \frac{R_v}{r_v} \frac{R_C // R_t}{R_t} \approx \frac{R_C // R_t}{R_t} = \frac{R_C}{R_C + R_t} < 1$$

(Do $\alpha \approx 1$ và $R_v \approx r_v$)

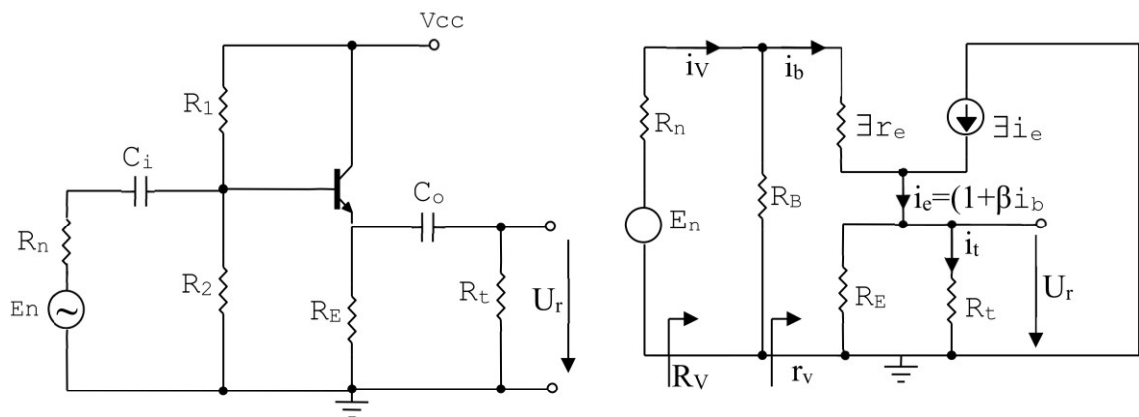
Mạch không khuếch đại dòng điện.

- Hệ số khuếch đại điện áp k_u :

$$k_u = \frac{U_r}{E_n} = \frac{i_t R_t}{i_v (R_n + R_v)} = k_i \frac{R_t}{R_n + R_v} = \alpha \frac{R_v}{r_v} \cdot \frac{R_C // R_t}{R_n + R_v} \approx \frac{R_C // R_t}{R_n + R_v}$$

$$k_u \approx \frac{R_C // R_t}{R_n + R_v}$$

c. Mạch khuếch đại mắc CC



Hình 2.27. Sơ đồ mạch và sơ đồ tương đương của mạch CC

Điện trở vào R_v : $R_v = R_B // r_v$

$$r_v = \frac{V_{BC}}{i_b} = \frac{i_b \beta r_e + (1 + \beta) i_b (R_E // R_t)}{i_b} = \beta r_e + (1 + \beta) (R_E // R_t) \approx (1 + \beta) (R_E // R_t)$$

$R_v = R_B // r_v$ (lớn khoảng hàng trăm $K\Omega$)

- Điện trở ra R_r : $R_r \approx R_E$

- Hệ số khuếch đại dòng điện: $k_i = \frac{i_t}{i_v}$

Ta có $U_r = i_t R_t = i_e (R_E // R_t)$

$$\text{Suy ra } i_t = \frac{i_e(R_E // R_t)}{R_t} = \frac{(1 + \beta)i_b(R_C // R_t)}{R_t} \quad (1)$$

$$U_v = i_v.R_v = i_b.r_v \Rightarrow i_v = \frac{r_v}{R_v} \cdot i_b \quad (2)$$

$$\text{Từ 1 \& 2 suy ra } k_i = (1 + \beta) \frac{R_v}{r_v} \frac{R_E // R_t}{R_t} \approx \frac{R_v}{R_t} \quad (\text{do } r_v \approx (1 + \beta)(R_E // R_t))$$

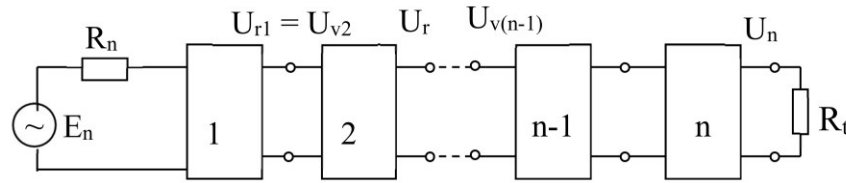
- Hệ số khuếch đại điện áp k_u :

$$k_u = \frac{U_r}{E_n} = \frac{i_t R_t}{i_v (R_n + R_v)} = k_i \frac{R_t}{R_n + R_v} = (1 + \beta) \frac{R_v}{r_v} \cdot \frac{R_E // R_t}{R_n + R_v} \approx \frac{R_v}{R_n + R_v} < 1$$

Mạch không khuếch đại điện áp

2.6.2 Mạch ghép tầng khuếch đại

Trong bộ khuếch đại nhiều tầng, tín hiệu ra của tầng trước là tín hiệu vào của tầng sau nó. Tải của tầng trước tham gia vào trở kháng vào của tầng sau. Trở kháng vào và trở kháng ra của bộ khuếch đại sẽ được tính theo trở kháng vào của tầng đầu và trở kháng ra của tầng cuối.



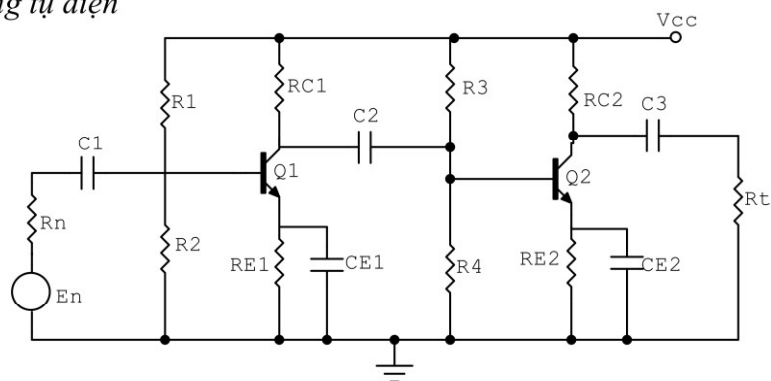
Hình 2.28. Sơ đồ khối của mạch ghép tầng khuếch đại

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại nhiều tầng bằng tích hệ số khuếch đại của mỗi tầng.

$$k_u = \frac{U_t}{E_n} = \frac{U_{r1}}{E_n} \cdot \frac{U_{r2}}{U_{v2}} \cdots \frac{U_{rn}}{U_{vn}} = k_{u1} \cdot k_{u2} \cdots k_{un}$$

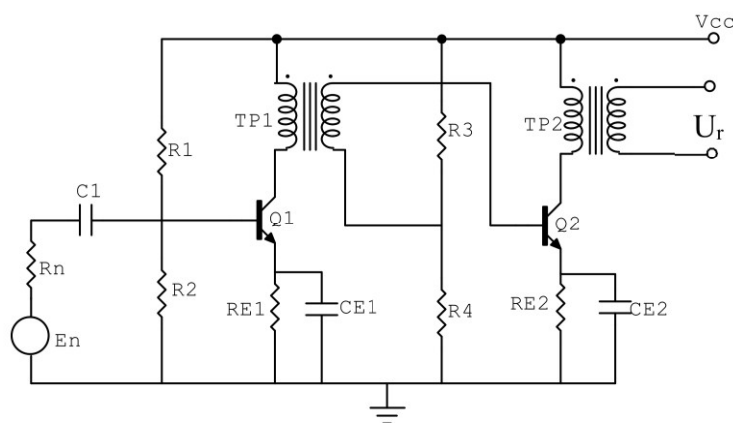
Việc ghép giữa các tầng có thể dùng tụ điện, biến áp hay ghép trực tiếp.

a) Mạch ghép tầng dùng tụ điện



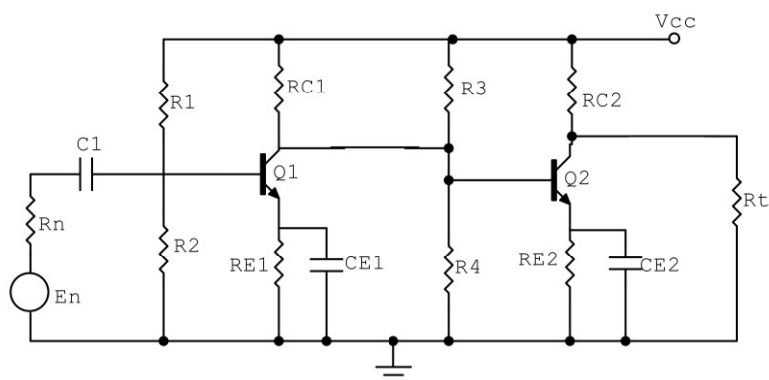
Hình 2.29. Mạch khuếch đại điện áp 2 tầng ghép tụ điện

b) Mạch khuếch đại điện áp ghép biến áp



Hình 2.30. Mạch khuếch đại 2 tầng ghép với nhau bằng biến

c) Mạch khuếch đại điện áp ghép trực tiếp



Hình 2.31. Mạch khuếch đại điện áp ghép trực tiếp

2.6.3 Mạch khuếch đại công suất (KĐCS)

a. Khái niệm:

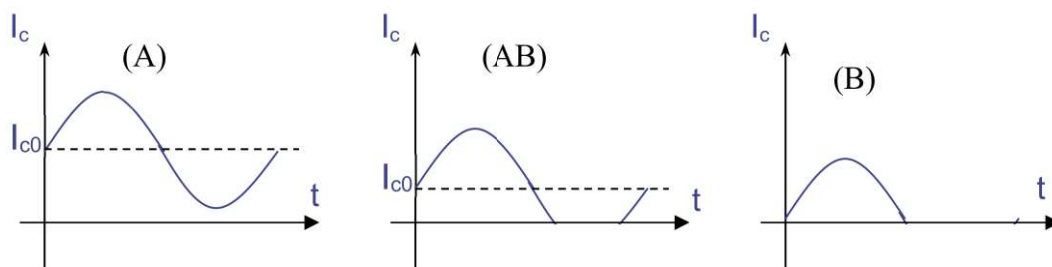
Mạch khuếch đại công suất (KĐCS) là mạch được thiết kế để cung cấp tín hiệu có công suất lớn cho tải. Để thực hiện chức năng đó, mạch KĐCS phải chịu đựng được nhiệt lượng được tạo ra khi nó hoạt động ở mức điện áp và dòng điện cao. Nhiệt lượng này phải được giải tỏa ra môi trường xung quanh đủ để tránh làm hư hỏng linh kiện. Mạch KĐCS thường là tầng sau cùng của một hệ thống khuếch đại.

Mạch KĐCS được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực âm tần, trong trường hợp này, tải của chúng thường là loa. Mạch KĐCS cũng được sử dụng trong các hệ thống điều khiển cơ điện tử để điều khiển các động cơ điện, ví dụ như hệ thống băng từ, ổ đĩa của máy tính, hệ thống định vị antenna...

Tầng KĐCS có thể làm việc ở các chế độ A, B, AB và C, D tùy thuộc vào chế độ công tác của transistor.

- Chế độ A: là chế độ khuếch đại cả chu kỳ tín hiệu vào. Chế độ này có hiệu suất thấp nhưng méo phi tuyến nhỏ nhất nên chỉ được dùng trong các tầng khuếch đại đơn.
- Chế độ B: là chế độ khuếch đại nửa chu kỳ tín hiệu vào, chế độ này có hiệu suất cao nhưng méo xuyên tâm lớn, có thể khắc phục bằng cách kết hợp với chế độ AB và dùng hồi tiếp âm.
- Chế độ AB: có tính chất chuyển tiếp giữa chế độ A và B. Nó có dòng tĩnh nhỏ để tham gia vào việc giảm méo lúc tín hiệu vào có biên độ nhỏ.
- Chế độ C: khuếch đại tín hiệu ra trong một phần nửa chu kỳ, nó có hiệu suất rất cao nhưng méo cũng rất lớn.
- Chế độ D: ở chế độ này transistor làm việc như một khoá điện tử

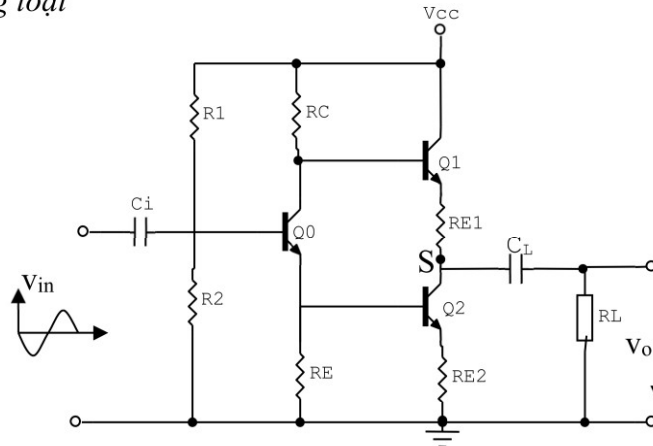
Dưới đây sẽ xem xét chi tiết các chế độ A, B, AB các chế độ hoạt động của transistor ở các tầng khuếch đại.



Hình 2.33. Dạng tín hiệu ra của chế độ A, AB, B

b. Mạch khuếch đại công suất kiểu OTL (Output Transformer Less)

* Mạch dùng 2 BJT cùng loại



Hình 2.34. Mạch OTL dùng 2 BJT cùng loại

Nguyên lý hoạt động:

-Ở chế độ tĩnh: Ta có $V_S = V_{cc}/2$ tức lúc ban đầu tụ C_L nạp sẵn một lượng điện áp $V_{CL}=V_S$.

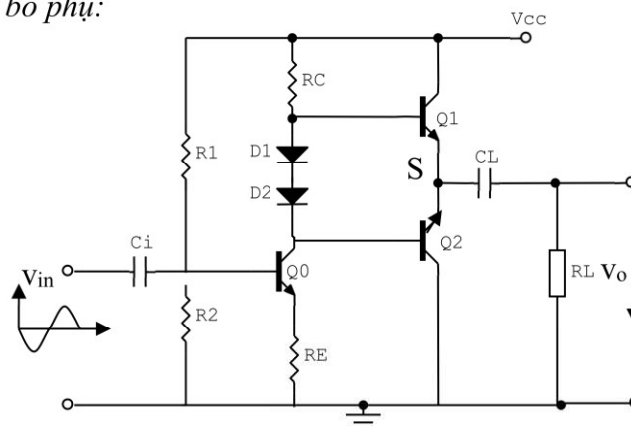
-Ở chế độ động: Khi đưa tín hiệu u_v có dạng sin như hình vẽ.

Ở $\frac{1}{2}$ chu kỳ âm của v_{in} : Trên cực B/ Q_1 có $\frac{1}{2}$ chu kỳ dương, Cực B/ Q_2 có $\frac{1}{2}$ chu kỳ âm làm cho Q_1 dẫn, Q_2 tắt. Lúc này có dòng i_{c1} chạy qua mạch theo chiều từ $V_{cc} \rightarrow Q_1 \rightarrow R_{E1} \rightarrow C_L \rightarrow R_L \rightarrow \text{mass}$. Tạo nên $\frac{1}{2}$ chu kỳ dương ở đầu ra tải R_L . Lúc này tụ C_0 nạp thêm điện tích với điện áp trên tụ là $V(C_L)=V_{CC}$.

Ở $\frac{1}{2}$ chu kỳ dương của v_{in} : Trên cực B/ Q_1 có $\frac{1}{2}$ chu kỳ âm, Cực B/ Q_2 có $\frac{1}{2}$ chu kỳ dương làm cho Q_1 tắt, Q_2 dẫn. Lúc này tụ C_L xả điện và có dòng i_{c2} chạy qua mạch theo chiều từ Cực dương của $C_L \rightarrow Q_2 \rightarrow R_{E2} \rightarrow \text{mass} \rightarrow R_L \rightarrow$ cực âm của tụ. Tạo nên $\frac{1}{2}$ chu kỳ âm ở đầu ra tải R_L .

Cứ như vậy Q_1, Q_2 luân phiên dẫn điện và tạo nên tín hiệu ở đầu ra tải.

* Mạch dùng 2 BJT bổ phụ:



Hình 2.35. Mạch OTL dùng 2 BJT bổ phụ

Nguyên lý hoạt động:

Tương tự như mạch KDCS dùng 2 BJT cùng loại

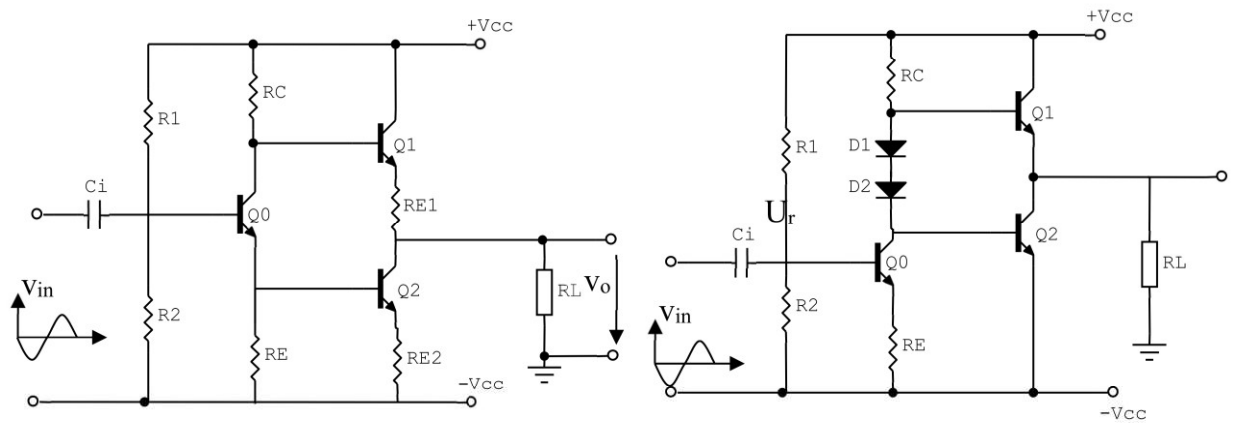
c. Mạch khuếch đại công suất kiểu OCL (Output Capacitor Less)

Nguyên lý hoạt động: Tương tự như kiểu OTL

Ở mạch này đầu ra không có tụ điện C_L nên người ta dùng nguồn cung cấp đối xứng.

* Ứng với $\frac{1}{2}$ chu kỳ âm của v_{in} : có dòng i_{c1} chạy qua mạch theo chiều từ: $+V_{CC} \rightarrow Q_1 \rightarrow R_{E1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{mass}$.

* Ứng với $\frac{1}{2}$ chu kỳ dương của v_{in} : có dòng i_{c2} chạy qua mạch theo chiều từ: $\text{mass } R_L \rightarrow R_L \rightarrow Q_2 \rightarrow R_{E2} \rightarrow -V_{CC}$.



Hình 2.36. Mạch OCL

d. Công suất và hiệu suất:

Khi Q_1 dẫn, điện áp trên tải là $V_{RL} = R_L \cdot i_{c1}$ và khi Q_2 dẫn điện áp trên tải là $V_{RL} = R_L \cdot i_{c2}$. Do Q_1, Q_2 có tính đối xứng nên trong mạch có $i_{c1} = i_{c2}$, nếu dòng qua R_L là i_l và dòng cực đại là i_{lmax} , thì công suất trên tải là:

$$P_o = R_L \cdot i_l^2 = \left(\frac{i_{lmax}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R_L = \frac{1}{2} \cdot R_L \cdot i_{lmax}^2$$

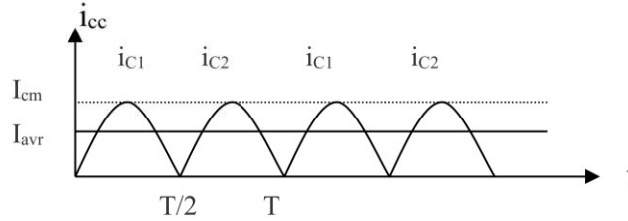
Khi Q_1, Q_2 dẫn mạnh, điện áp giữa cực C và E là v_{CES} và dòng qua tải đạt đến mức cực đại. Vậy lúc đó:

$$i_{lmax} = \frac{V_{CC} - v_{CES}}{R_L} \text{ thay vào hệ thức trên ta có:}$$

$$P_{o\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(V_{CC} - v_{CES})^2}{R_L}$$

Trong khi đó, công suất từ nguồn nuôi V_{CC} là: Giả sử nguồn tín hiệu $i_s = I_{sm} \sin \omega t$.

Công suất nguồn cung cấp P_{DC} . Do 2 transistor Q_1 và Q_2 luân phiên dẫn trong mỗi bán kỳ nên dòng do nguồn cung cấp có dạng:



$$P_{DC} = V_{CC} \cdot I_{avr}; \quad I_{avr} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_{cm} \sin \omega t \cdot dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_{cm} \sin \omega t \cdot dt = \frac{2I_{cm}}{2\pi/\omega} \cdot \frac{1}{\omega} (-\cos \omega t) \Big|_0^{T/2}$$

$$= -\frac{I_{cm}}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi/\omega} = 2 \cdot \frac{I_{cm}}{\pi} \Rightarrow P_{CC} = \frac{2}{\pi} \cdot V_{CC} \cdot I_{cm}$$

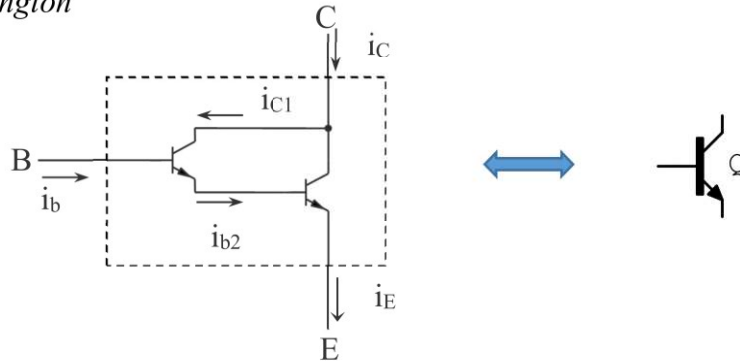
$$P_{DC} = 2V_{CC} \cdot I = 2V_{CC} \frac{i_{c \max}}{\pi} = \frac{2V_{CC}}{\pi} \cdot \frac{(V_{CC} - v_{CES})}{R_L} \quad (\text{do } i_{l \max} = i_{l \max})$$

Lập tỉ số ta có được hiệu suất của mạch:

$$\eta = \frac{P_o}{P_{DC}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{(V_{CC} - v_{CES})^2}{R_L}}{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC}(V_{CC} - v_{CES})}{R_L}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - v_{CES}}{V_{CC}} = \left(1 - \frac{v_{CES}}{V_{CC}}\right) \times 78,5\%$$

Trong thực tế, do $v_{CES} < V_{CC}$ nên hiệu suất của mạch đạt cao nhất là 78,5%.

e. Mạch ghép Darlington



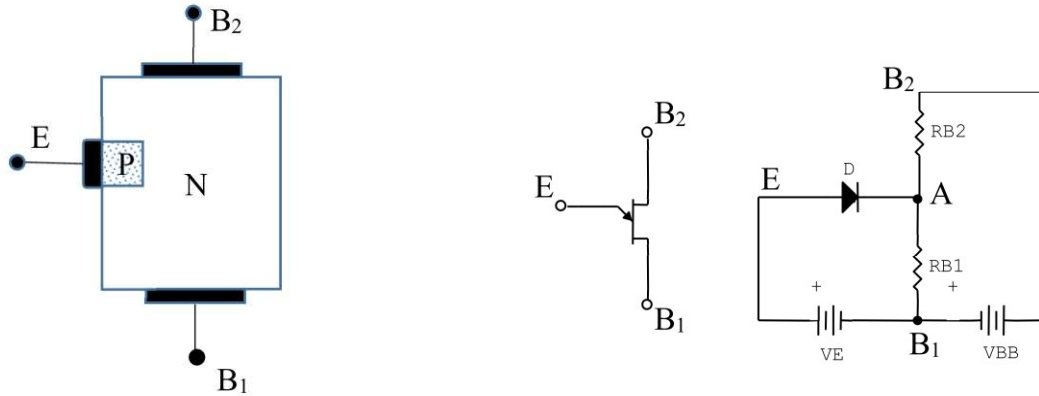
Hình 2.37. Mạch ghép Darlington

Mục đích của mạch ghép Darlington là để tăng hệ số khuếch đại dòng điện, giả sử BJT Q_1 , Q_2 có hệ số khuếch đại dòng điện là β_1 và β_2 thì khi ghép Darlington sẽ tương đương với một BJT có hệ số $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$.

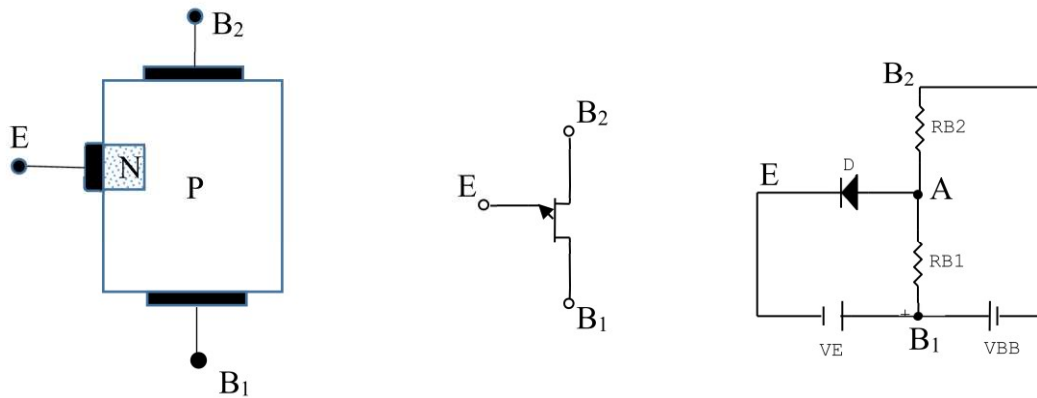
CHƯƠNG 3: TRANSISTOR ĐƠN NÓI (UJT: UNI JUNCTON TRANSISTOR) VÀ MẠCH ỨNG DỤNG

3.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

UJT là linh kiện bán dẫn có một tiếp xúc P-N và 3 điện cực. Nó gồm một thanh bán dẫn Si loại N có gắn thêm một miếng bán dẫn loại P để tạo thành tiếp xúc P-N duy nhất. Chân cực nối với miền bán dẫn P gọi là cực phát E. Hai đầu còn lại của thanh Si loại N được đưa ra 2 điện cực gọi là nền 1 (B_1) và nền 2 (B_2).



Hình 4.1. Cấu tạo, ký hiệu, Sơ đồ tương đương của UJT loại N



Hình 4.2. Cấu tạo, ký hiệu, Sơ đồ tương đương của UJT loại P

Nguyên lý hoạt động

Xét nguyên lý hoạt động của UJT loại N (UJT loại P tương tự)

Trong sơ đồ tương đương hình 4.1, diode được thay bằng tiếp xúc P-N; R_{B1} là điện trở của phần bán dẫn nền 1; R_{B2} là điện trở của phần bán dẫn nền 2.

$$V_A = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{BB} = \eta V_{BB} \quad (\eta: \text{là hệ số nội tải của UJT})$$

+ Nếu $V_E < V_\gamma + \eta V_{BB}$: Diode phân cực nghịch và qua nó chỉ có dòng ngược I_{E0} rất nhỏ và dòng này có giá trị cực đại khoảng 10mA ở 150°C lúc này UJT tắt.

+ $V_E \geq V_\gamma + \eta V_{BB}$: D phân cực thuận, D dẫn, dòng I_E tăng dần. Khi $V_E > V_P$ (V_P gọi là điện thế ngưỡng dẫn kích cho UJT dẫn gọi là điện thế đỉnh, trong một số mạch ứng dụng người ta thường chọn $V_P = 2/3 V_{BB}$). Dưới tác dụng của điện trường, các lỗ trống chuyển động từ cực E đến cực B_1 , còn các điện tử chuyển động theo chiều ngược lại tạo thành dòng I_E . Do sự gia tăng ô ạt của các hạt dẫn trong nền 1 nên điện trở R_{B1} giảm trong khi dòng I_E tăng và điện thế V_E giảm nên ta có vùng điện trở âm.

Vậy UJT làm việc như một công tắc kích khởi bằng điện thế. Nó có điện trở vào rất lớn khi ngưng dẫn và nhỏ khi dẫn.

3.2 Đặc tuyến và thông số kỹ thuật:

3.2.1 Đặc tuyến: Đặc tuyến V-A biểu thị quan hệ giữa dòng điện cực phát I_E với điện áp trên cực phát U_E ($I_E = f(U_E)$)

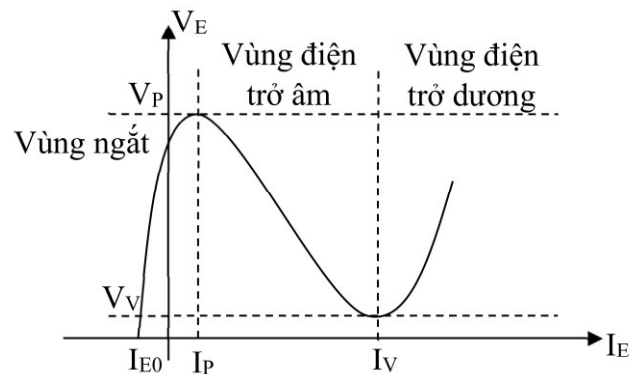
Đặc tuyến chia làm 3 vùng tương ứng với 3 chế độ hoạt động của UJT

- *Vùng ngắt:* UJT ngưng dẫn

- *Vùng điện trở âm:* dòng tăng nhưng áp giảm, dòng điện chỉ giới hạn bởi các linh kiện mắc ở mạch ngoài, do đó mạch ngoài phải đảm bảo để dòng điện $I_E < I_{E_{max}}$.

Khi I_E tăng đến I_V , muốn tăng thêm dòng I_E lên nữa ta buộc phải tăng V_E vì số lượng lỗ trống và điện tử sẽ đạt đến tình trạng di chuyển bão hòa, đặc tuyến chuyển sang vùng điện trở dương.

- *Vùng điện trở dương:* UJT làm việc ở chế độ bão hòa



Hình 4.3. Đặc tuyến V-A của UJT

Trong các mạch dao động người ta chọn các UJT làm việc ở vùng điện trở âm. Đây là vùng ổn định dùng trong các mạch dao động.

3.2.2 Các tham số:

- Điện trở liên nền : $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$ (4K đến 12K tùy thuộc vào từng loại UJT và phụ thuộc vào nhiệt độ).

- Hệ số nội tải UJT: $\eta = R_{B1}/R_{BB}$ (0.45 đến 0.82 không phụ thuộc nhiệt độ mà nó phụ thuộc vào vật liệu chế tạo).

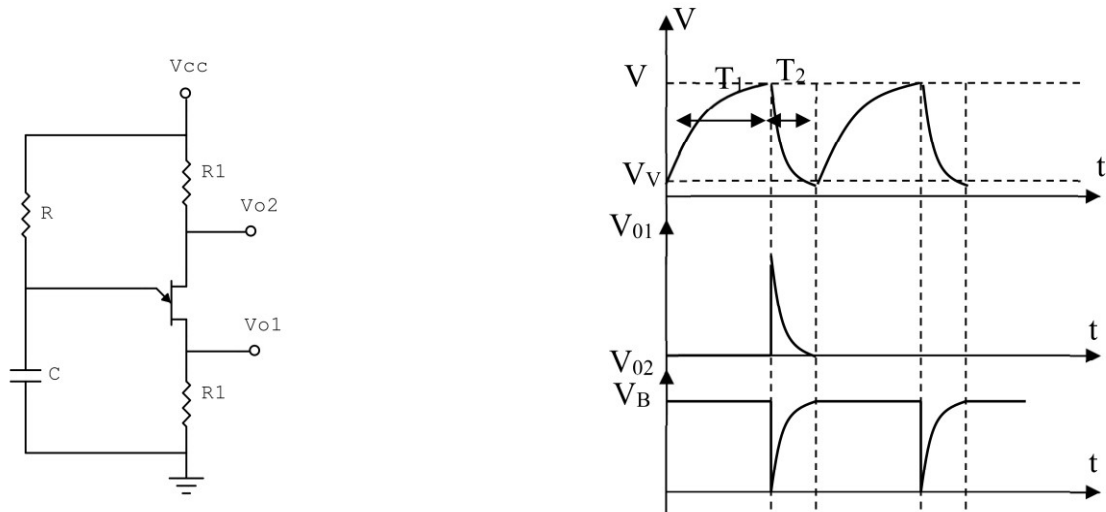
- Điện thế đỉnh (điện thế ngưỡng dẫn) $V_P = V_V + \eta V_{BB}$ là điện thế nhỏ nhất đặt vào cực E sao cho UJT chuyển từ trạng thái tắt sang dẫn.
- Dòng đỉnh I_P : là dòng điện tương ứng với trị số V_P (hay còn gọi là dòng kích khởi). Trị số I_P chỉ vài :A.
- Điện thế thung lũng (điện thế ngắt): $V_V \sim 2V$ là điện áp thấp nhất nổi vùng điện trở âm với vùng điện trở dương của đặc tuyến
- Dòng điện thung lũng I_V : là trị số dòng điện tương ứng với điện áp $V_E = V_V$.
- Điện áp bão hòa là điện áp ứng với dòng $I_E = 50mA$ và điện áp $V_{BB} = 10V$

3.3. Các ứng dụng của UJT

Người ta thường sử dụng vùng điện trở âm để tạo các mạch dao động. Cho nên UJT thường sử dụng trong các mạch tạo xung, trong mạch định thời các mạch báo động và quan trọng nhất là dùng để kích cho SCR.

3.3.1. Mạch tạo xung răng cưa:

a) Sơ đồ mạch và dạng sóng:



Hình 4.4. Sơ đồ mạch và dạng sóng mạch tạo xung răng cưa

b) Nguyên lý hoạt động

Trong sơ đồ có nguồn cung cấp V_{BB} , tải R , tụ phóng nạp C , trên tải R_2 ta lấy xung ra, R_1 là điện trở bù nhiệt ngoài ra nó còn có nhiệm vụ giới hạn dòng khi điện áp V_{BB} quá lớn. Ta có thể tính R_1 theo công thức: $R_1 = 0.7R_{BB}/V_{BB}$

Khi đóng nguồn để bắt đầu chu kỳ hoạt động (T_1), tiếp xúc p-n phân cực nghịch nên UJT tắt. Trong khi đó tụ C nạp điện qua R từ nguồn V_{BB} . Điện áp V_E cũng chính là điện áp trên tụ C tăng dần theo hàm mũ.

Khi $V_E = V_P$, tiếp xúc p-n phân cực thuận dòng I_E tăng vọt lên trong khi R_{B1} giảm và UJT dẫn điện. Khi đó tụ C xả điện qua cực E làm chỉ điện áp trên tụ giảm dần xuống cho đến khi $V_E = V_V$ thì UJT lại tắt. Khi UJT tắt thì tụ C lại nạp điện và cứ như vậy, chu kỳ mới lại bắt đầu. Trên R_2 ta nhận được một tín hiệu xung có dạng như hình 4.3.

Chu kỳ tính hiệu ra hoàn toàn do mức V_P và thời gian thực hiện phóng và nạp điện của tụ C quyết định: $T = T_1 + T_2$ tuy nhiên $T_1 \gg T_2$ nên chủ yếu do thời gian nạp điện của tụ C quyết định, được xác định bởi hệ thức sau:

$$T = RC \ln \left(\frac{1}{1 - \eta} \right)$$

Tần số dao động được lấy trên R_2 (hoặc R_1):

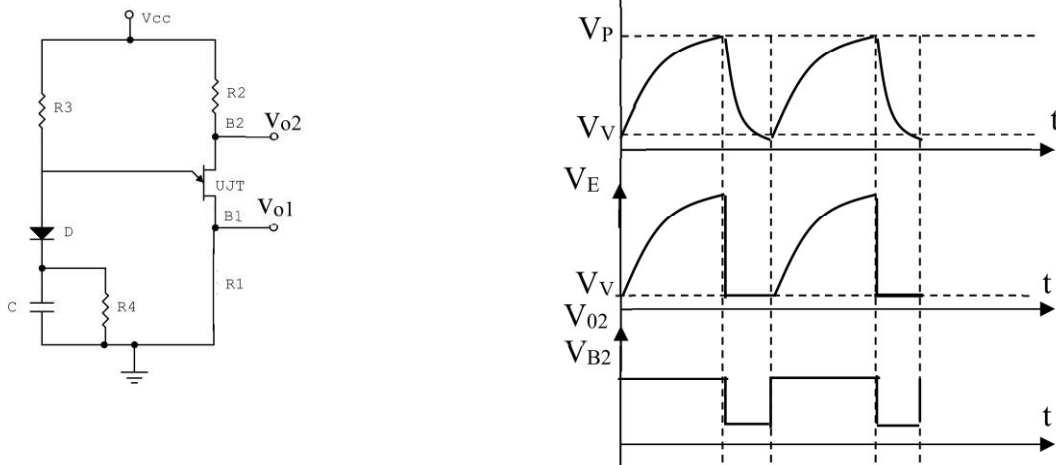
$$f = \frac{1}{T}$$

Để UJT làm việc trong vùng điện trở âm ($I_P < I_E < I_V$) thì R được chọn thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{V_{CC} - V_V}{I_V} < R < \frac{V_{CC} - V_P}{I_V}$$

Để không làm giảm V_E cần có $C \geq 0.01 \mu F$. Nếu $C > 1F$, nên thêm điện trở nối tiếp với C để bảo vệ cực E.

3.3.2 Mạch tạo xung vuông



Hình 4.5 Sơ đồ và dạng sóng mạch tạo xung vuông

Mạch bên có thể được sử dụng để tạo ra xung vuông.

Chu kỳ T của tín hiệu là hàm của hằng số thời gian phóng và nạp của tụ C. Bởi

thể, nó phụ thuộc vào C, R3, R4 như sau:

$$T = R3.C.\ln\left(\frac{E - V_V}{E - V_P}\right) + R4.C.\ln\left(\frac{V_P}{V_V}\right)$$

$$\approx R3.C.\ln\left(\frac{1}{1-n}\right) + R4.C.\ln\left(\frac{V_P}{V_V}\right)$$

CHƯƠNG 4: THYRISTOR VÀ MẠCH ỨNG DỤNG

4.1 SCR

4.1.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:

a) Cấu tạo:

SCR được cấu tạo bởi 4 lớp bán dẫn PNPN (có 3 nối PN). Như tên gọi ta thấy SCR là một diode chỉnh lưu được kiểm soát bởi cổng silicium. Các tiếp xúc kim loại được tạo ra các cực Anod (A), Catod (K) và cổng (G).

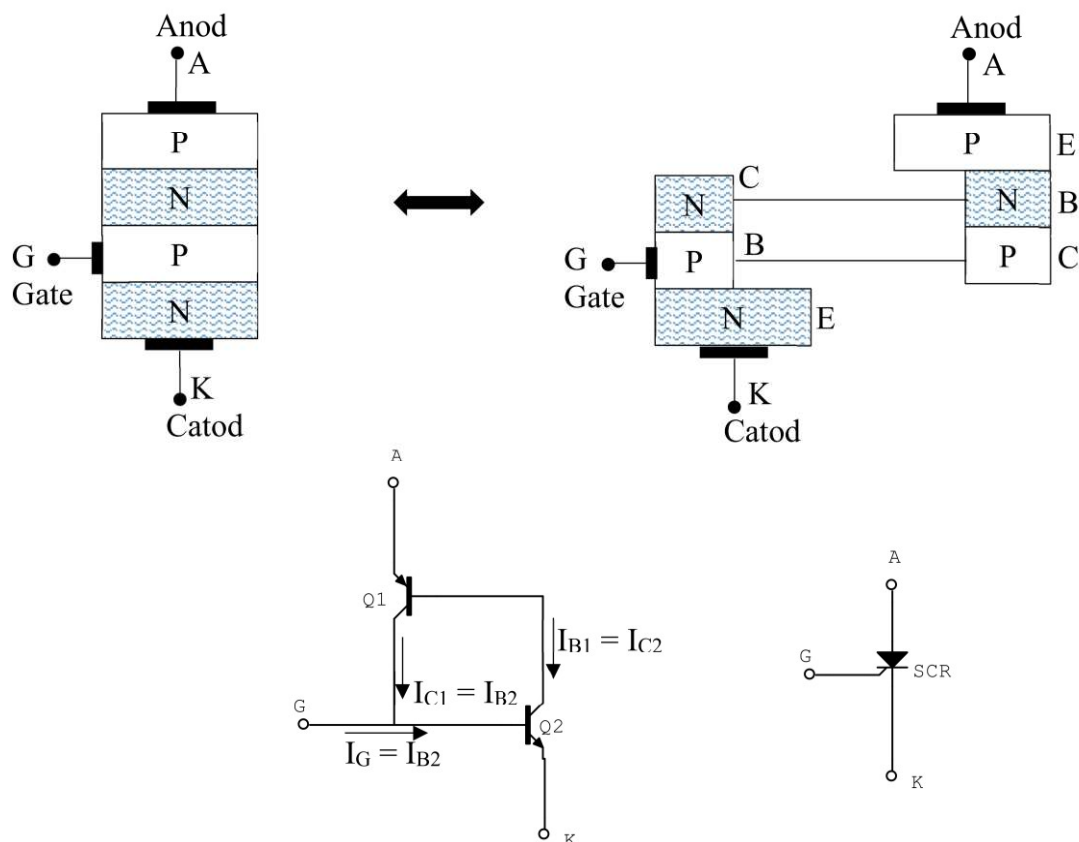
b) Nguyên lý hoạt động:

$$+ V_A > V_K$$

+ Để SCR dẫn ta phải đưa vào cực G một tín hiệu kích (V_G, I_G)

$I_G = I_{B2}$, Q_2 dẫn, $I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_2 I_G$, $I_{C2} = I_{B1}$, Q_1 dẫn, $I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = \beta_1 \beta_2 I_G = I_{B2}$ làm I_{C1} tăng lên. Nhờ vậy mà Q_1, Q_2 dẫn bão hoà.

Khi SCR dẫn ta tắt tín hiệu kích lúc đó SCR vẫn dẫn. Đây chính là nhược điểm của SCR nghĩa là SCR cho phép kích bằng cực cổng nhưng không cho phép tắt. SCR có tác dụng như công tắc điều khiển bằng điện áp.



Hình 5.1. Cấu tạo, ký hiệu và mô hình tương đương của SCR

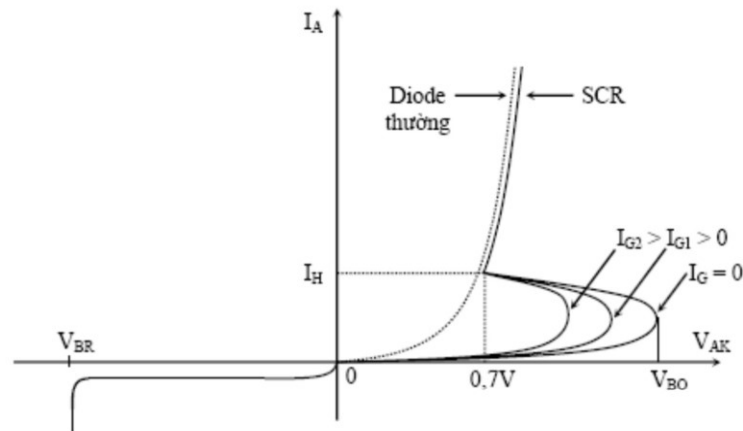
4.1.2. Đặc tuyến V-A và các thông số SCR

a) Đặc tuyến V-A

V_{BR} : điện thế đánh thủng.

V_{BO} : điện thế quay về

I_H : dòng duy trì



Hình 5.2. Đặc tuyến V-A của SCR

Đặc tuyến này trình bày sự biến thiên của dòng điện anod I_A theo điện thế anod catod V_{AK} với dòng cổng I_G coi như thông số.

- Khi SCR được phân cực nghịch (điện thế anod âm hơn điện thế catod), chỉ có một dòng điện rỉ rất nhỏ chạy qua SCR.

- Khi SCR được phân cực thuận (điện thế anod dương hơn điện thế catod), nếu ta nối tắt (hoặc để hở) nguồn V_{GG} ($I_G=0$), khi V_{AK} còn nhỏ, chỉ có dòng điện rất nhỏ chạy qua SCR (trong thực tế người ta xem như SCR không dẫn điện), nhưng khi V_{AK} đạt đến một trị số nào đó (tùy thuộc vào từng SCR) gọi là điện thế quay về V_{BO} thì điện thế V_{AK} đột ngột xuống khoảng 0,7V như diode thường. Dòng điện tương ứng bây giờ chính là dòng điện duy trì I_H . Lúc này, SCR chuyển sang trạng thái dẫn điện và có đặc tuyến gần giống như diode thường.

Nếu ta tăng nguồn V_{GG} để tạo dòng kích I_G , ta thấy điện thế quay về nhỏ hơn và khi dòng kích I_G càng lớn, điện thế quay về V_{BO} càng nhỏ.

b) Các tham số:

- Dòng thuận tối đa: I_A

Là dòng điện anod I_A trung bình lớn nhất mà SCR có thể chịu đựng được liên tục. Trong trường hợp dòng lớn, SCR phải được giải nhiệt đầy đủ. Dòng thuận tối đa tùy thuộc vào mỗi SCR, có thể từ vài trăm mA đến hàng trăm Ampere.

- Điện thế đánh thủng V_{BR} :

Đây là điện thế phân cực nghịch tối đa mà chỉ xảy ra sự hủy thác (breakdown). SCR được chế tạo với điện thế nghịch từ vài chục Volt đến hàng ngàn Volt.

- Dòng chốt (latching current):

Là dòng thuận tối thiểu để giữ SCR ở trạng thái dẫn điện sau khi SCR từ trạng thái tắt sang trạng thái dẫn. Dòng chốt thường lớn hơn dòng duy trì chút ít ở SCR công suất nhỏ và lớn hơn dòng duy trì khá nhiều ở SCR có công suất lớn.

- Dòng cổng tối thiểu (Minimum gate current):

Như đã thấy, khi điện thế V_{AK} lớn hơn V_{BO} thì SCR sẽ chuyển sang trạng thái dẫn điện mà không cần dòng kích I_G . Tuy nhiên trong ứng dụng, thường người ta phải tạo ra một dòng cổng để SCR dẫn điện ngay. Tùy theo mỗi SCR, dòng cổng tối thiểu từ dưới 1mA đến vài chục mA. Nói chung, SCR có công suất càng lớn thì cần dòng kích lớn. Tuy nhiên chú ý là dòng cổng không được quá lớn, có thể làm hỏng nối cổng-catod của SCR

- Thời gian mở t_{on} (turn - on time):

Là thời gian từ lúc bắt đầu có xung kích đến lúc SCR dẫn gần bão hòa (thường là 0,9 lần dòng định mức). Thời gian mở khoảng vài μs . Như vậy, thời gian hiện diện của xung kích phải lâu hơn thời gian mở.

- Thời gian tắt t_{off} (turn - off time):

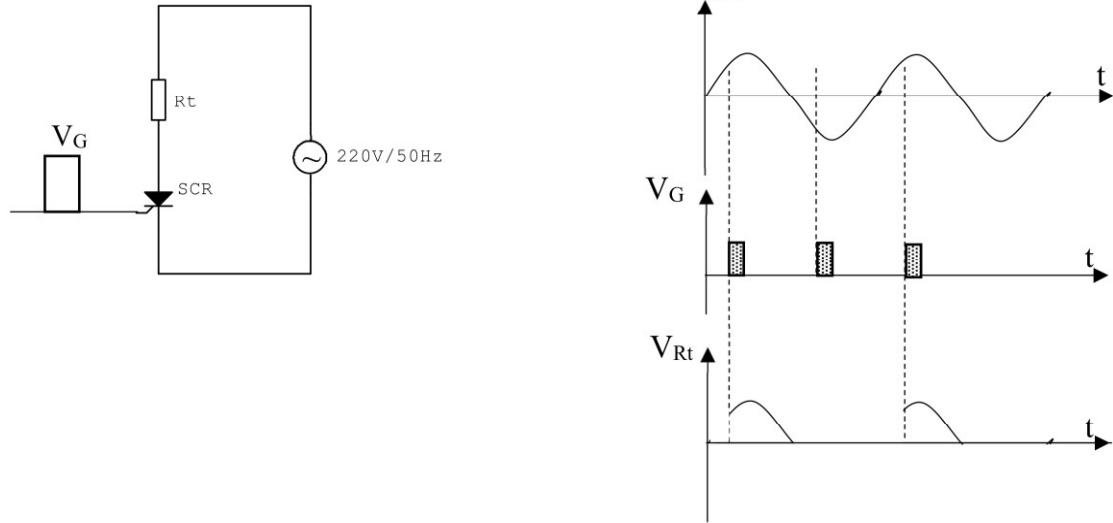
Để tắt SCR, người ta giảm điện thế V_{AK} xuống 0Volt, tức dòng anod cũng bằng 0. Thế nhưng nếu ta hạ điện thế anod xuống 0 rồi tăng lên ngay thì SCR vẫn dẫn điện mặc dù không có dòng kích. Thời gian tắt SCR là thời gian từ lúc điện thế V_{AK} xuống 0 đến lúc lên cao trở lại mà SCR không dẫn điện trở lại. Thời gian này lớn hơn thời gian mở, thường khoảng vài chục μs . Như vậy, SCR là linh kiện chậm, hoạt động ở tần số thấp, tối đa khoảng vài chục KHz.

- Tốc độ tăng điện thế dv/dt :

Ta có thể làm SCR dẫn điện bằng cách tăng điện thế anod lên đến điện thế quay về V_{BO} hoặc bằng cách dùng dòng kích cực cổng. Một cách khác là tăng điện thế anod nhanh tức dv/dt lớn mà bản thân điện thế V anod không cần lớn. Thông số dv/dt là tốc độ tăng thế lớn nhất mà SCR chưa dẫn, vượt trên vị trí này SCR sẽ dẫn điện. Lý do là có một điện dung nội C_b giữa hai cực nền của transistor trong mô hình tương đương của SCR. Dòng điện qua tụ là: $i_{cb} = C_b \cdot dv/dt$. Dòng điện này chạy vào cực nền của T1. Khi dv/dt đủ lớn thì i_{cb} lớn đủ kích cho SCR.

- Tốc độ tăng dòng thuận tối đa $\frac{di}{dt}$: Đây là trị số tối đa của tốc độ tăng dòng anod. Trên trị số này SCR có thể bị hư. Lý do là khi SCR chuyển từ trạng thái ngưng sang trạng thái dẫn, hiệu thế giữa anod và catod còn lớn trong lúc dòng điện anod tăng nhanh khiến công suất tiêu tán tức thời có thể quá lớn. Khi SCR bắt đầu dẫn, công suất tiêu tán tập trung ở gần vùng cổng nên vùng này dễ bị hư hỏng. Khả năng chịu đựng của $\frac{di}{dt}$ tùy thuộc vào mỗi SCR.

4.1.4. SCR hoạt động ở chế độ xoay chiều:



Hình 5.6. Sơ đồ và dạng điện áp khi SCR hoạt động 1 nửa chu kỳ

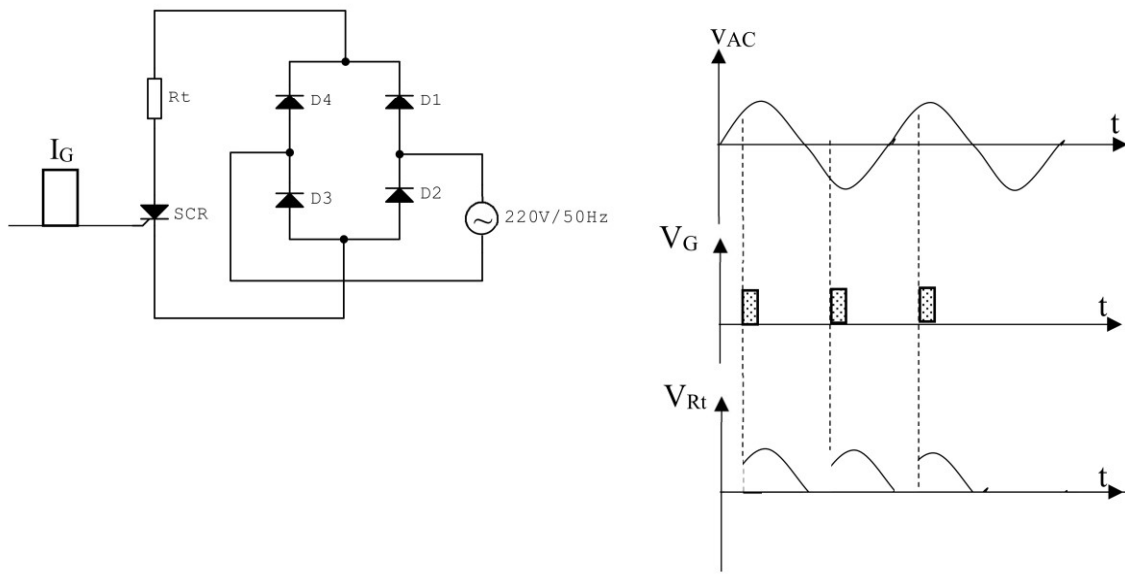
Điện áp ngõ ra trung bình:

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{180^{\circ}} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{180^{\circ}} \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \theta]_{\alpha}^{180^{\circ}}$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha - \cos 180^{\circ}) = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dòng điện ngõ ra trung bình: $I_{av} = \frac{V_{av}}{R_L} = \frac{V_m}{2\pi R_L} (1 + \cos \alpha)$

Để tăng công suất cho tải, người ta cho SCR hoạt động ở chỉnh lưu toàn kỳ.



Hình 5.7. Sơ đồ và dạng điện áp khi SCR hoạt động ở chỉnh lưu toàn kỳ

Điện áp ngõ ra trung bình:

$$V_{av} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{180^{\circ}} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{\pi} \int_{\alpha}^{180^{\circ}} \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{\pi} [-\cos \theta]_{\alpha}^{180^{\circ}}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} (\cos \alpha - \cos 180^{\circ}) = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

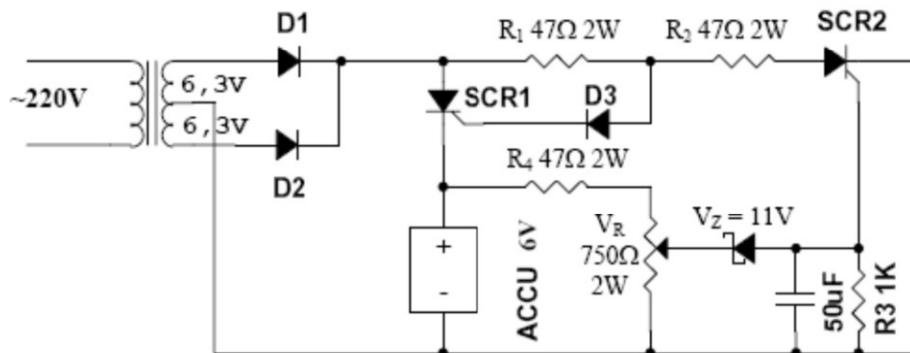
Dòng điện ngõ ra trung bình: $I_{av} = \frac{V_{av}}{R_L} = \frac{V_m}{\pi R_L} (1 + \cos \alpha)$

4.1.5. Vài ứng dụng đơn giản

a. Mạch kiểm soát pha

Các mạch điều khiển động cơ, ánh sáng, mạch báo động.

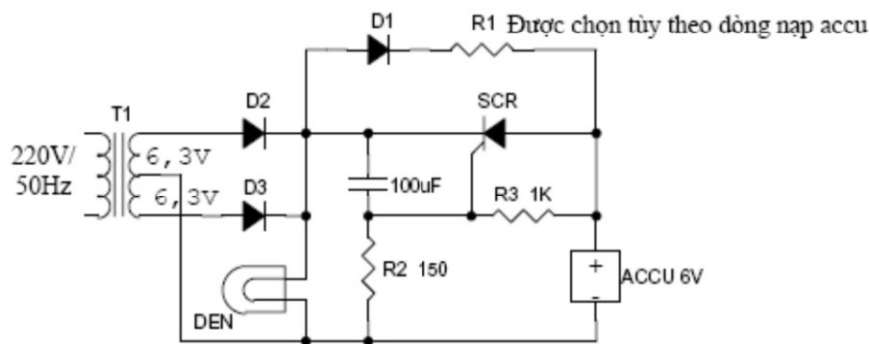
Mạch đèn khẩn cấp khi mất điện:



Hình 5.8. Mạch nạp accu tự động

Bình thường đèn 6V cháy sáng nhờ nguồn điện qua mạch chỉnh lưu. Lúc này SCR ngưng dẫn do bị phân cực nghịch, accu được nạp qua D1, R1. Khi mất điện, nguồn điện accu sẽ làm thông SCR và thấp sáng đèn.

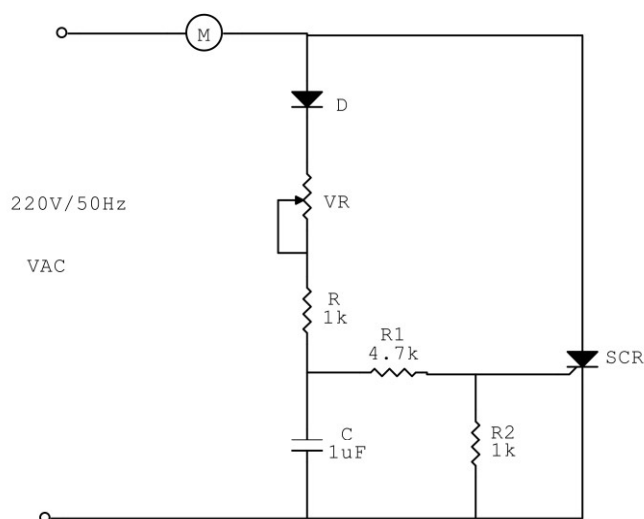
b. Mạch nạp accu tự động



Hình 5.7 Mạch đèn khẩn cấp khi mất điện

- Khi accu nạp chưa đầy, SCR1 dẫn, SCR2 ngưng.
- Khi accu đã nạp đầy, điện thế cực dương lên cao, kích SCR2 làm SCR2 dẫn, chia bớt dòng nạp bảo vệ accu.
- V_R dùng để chỉnh mức bảo vệ (giảm nhỏ dòng nạp).

c. Mạch điều khiển tốc độ động cơ



Hình 5.9. Mạch điều chỉnh tốc độ động cơ

Trong mạch điện động cơ M là động cơ vạn năng, loại động cơ có thể dùng cho AC hay DC.

Dòng điện qua động cơ là dòng điện ở bán kỳ dương và được thay đổi trị số bằng cách thay đổi góc kích của của dòng I_G .

Khi SCR chưa dẫn thì chưa có dòng qua động cơ, diode dẫn điện ở bán kỳ dương nạp vào tụ qua điện trở R và biến trở V_R . Điện áp cấp cho cực G lấy trên tụ C thông qua cầu phân áp R_1, R_2 .

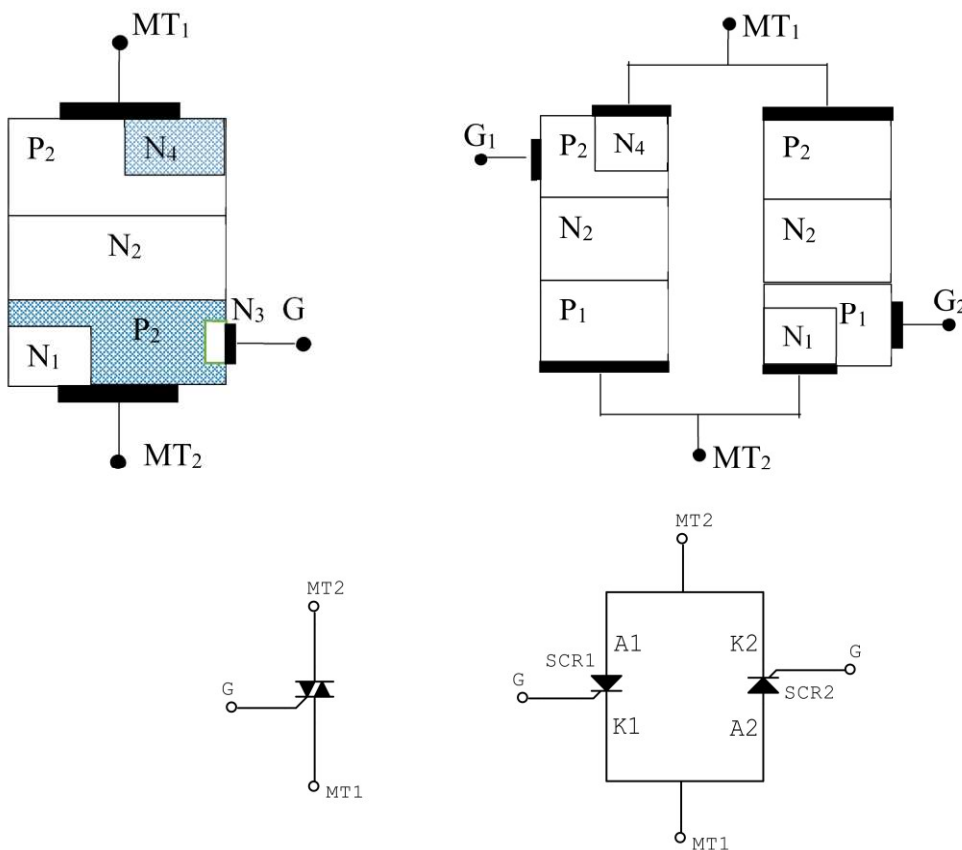
Giả sử điện áp đủ để kích cho cực G là $V_G = 1V$ và dòng điện kích $I_{Gmin} = 1mA$ thì điện áp trên tụ C phải khoảng $10V$. Tụ C nạp điện qua R và V_R với hằng số thời gian: $T = (R + V_R)C$.

Khi thay đổi trị số V_R sẽ làm thay đổi thời gian nạp của tụ C tức thay đổi thời điểm có dòng xung kích I_G sẽ làm thay đổi thời điểm dẫn điện của SCR tức là thay đổi dòng điện qua động cơ và làm tốc độ của động cơ thay đổi.

Khi dòng AC có bán kuf âm thì diode D và SCR đều phân cực nghịch nên diode và SCR chuyển sang trạng thái ngưng dẫn.

4.2 TRIAC

4.2.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động



Hình 5.10. Cấu tạo, ký hiệu và mô hình tương đương của TRIAC

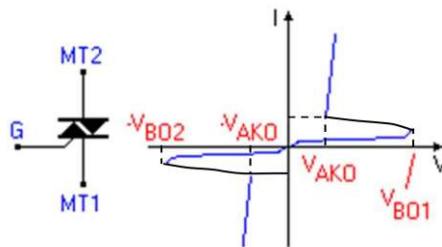
4.2.2 Nguyên lý hoạt động

Khi không có tín hiệu vào cực cửa G, TRIAC sẽ luôn ngắt

Khi cực G được kích khởi xung có biên độ đủ lớn, nếu $V_{MT1} > V_{MT2}$ thì có dòng I_1 chạy từ MT1 sang MT2 và ngược lại nếu $V_{MT2} > V_{MT1}$ thì có dòng I_2 chạy từ MT2 sang MT1. Như vậy TRIAC cho dòng điện qua theo 2 chiều nên nó thường được dùng để điều khiển tải xoay chiều.

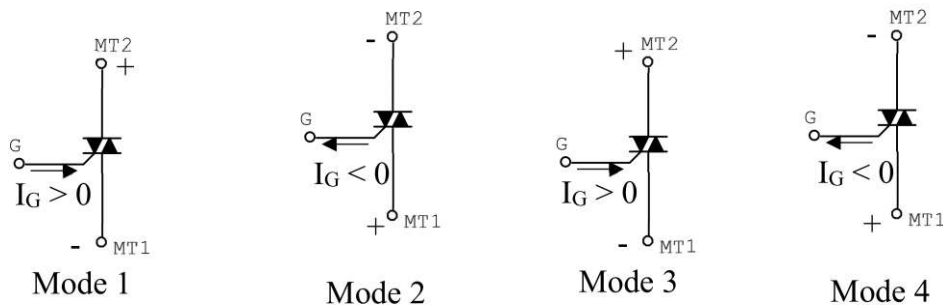
4.2.3. Đặc tuyến Volt – Ampe

TRIAC sẽ dẫn khi điện áp giữa MT1 và MT2 vượt quá giá trị ngưỡng V_{B0} . Cũng giống như SCR, giá trị ngưỡng V_{B0} có thể được điều khiển bởi dòng trên cực cửa G. Sự dẫn có thể theo hai hướng.



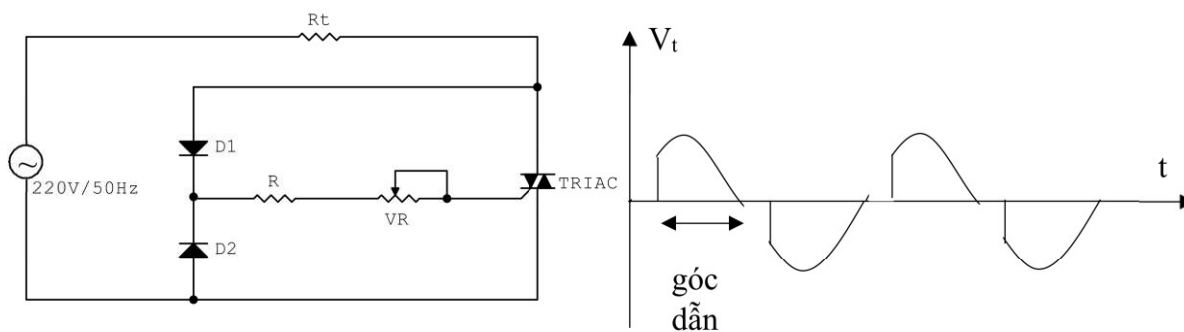
Hình 5.11. Đặc tuyến V-A của TRIAC

Do tính chất dẫn điện cả hai chiều, Triac dùng trong mạng điện xoay chiều thuận lợi hơn SCR cho thấy ứng dụng của Triac trong mạng điện xoay chiều. Khi dẫn điện thì điện áp trên 2 cực T1, T2 rất nhỏ nên được coi như công tắc chuyển mạch dùng trong mạng điện xoay chiều.



Hình 5.12. Các mode kích của TRIAC

4.2.4 Ứng dụng của TRIAC trong mạng điện xoay chiều

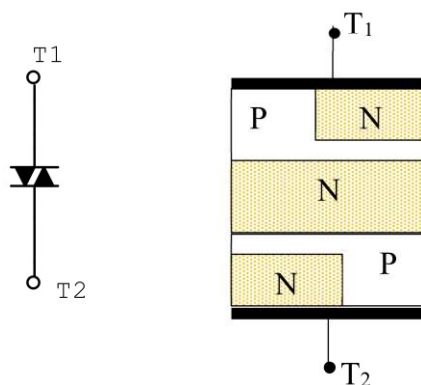


Hình 5.13. TRIAC hoạt động với nguồn xoay chiều

4.3 DIAC

4.3.1 Cấu tạo

DIAC giống như một SCR không có cực cổng hay đúng hơn là một transistor không có cực nền. Hình sau đây mô tả cấu tạo, ký hiệu và mạch tương đương của DIAC.

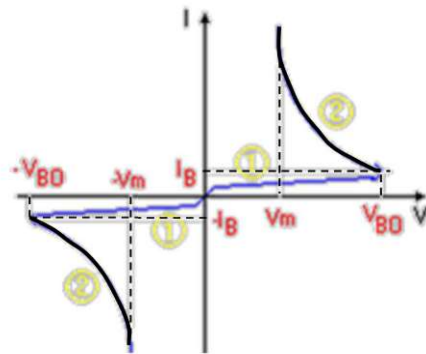


Hình 5.14. Cấu tạo và ký hiệu của DIAC

DIAC dẫn không cần điện áp đưa vào cực cửa mà chỉ cần đạt điện áp ngưỡng giữa cực T_1 và T_2 .

DIAC có thể dẫn theo cả hai hướng.

Những đặc trưng này được chỉ ra trên đường cong dòng/áp của hình dưới đây.

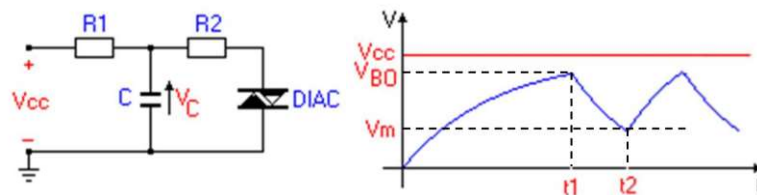


Hình 5.15. Đặc tuyến V-A của DIAC

Trong đoạn (1) của đặc tuyến ($-V_{B0} \div V_{B0}$), DIAC sẽ hoạt động như một chuyển mạch với cả hai chiều phân cực thuận và nghịch. Khi điện áp vượt qua giá trị “ngưỡng đánh thủng” V_{B0} , dòng bắt đầu tăng nhanh và điện áp giảm xuống giá trị V_m .

Trong đoạn (2) của đặc tuyến ($-V_{B0} \div -V_m$ hoặc $V_m \div V_{B0}$), điện áp sụt xuống trong khoảng thời gian ngắn, trong khoảng thời gian này, DIAC có điện trở âm. Nếu điện áp đặt vào DIAC giảm xuống nhỏ hơn V_m , DIAC sẽ quay trở lại trạng thái hở mạch (ngắt).

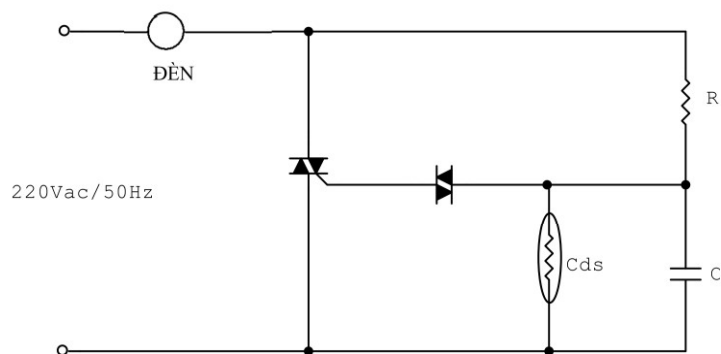
a. Mạch dao động đơn giản



Hình 5.16. Sơ đồ một bộ tạo dao động đơn giản sử dụng DIAC

Với mạch này, tụ sẽ nạp qua $R1$ trong khoảng t_1 . Khi điện áp trên tụ bằng với V_{B0} DIAC sẽ bắt đầu dẫn. Lúc này, tụ sẽ phóng qua R_2 và DIAC; điện áp trên tụ giảm xuống giá trị V_m . Khi này, DIAC chuyển về trạng thái hở mạch (ngắt). Chu kỳ lại tiếp tục.

b. Mạch tự động điều khiển ánh sáng



Hình 5.17. Mạch tự động điều khiển ánh sáng của

Ở bán dương thì điện thế dương, tụ nạp điện đến giá trị V_{BO} thì DIAC dẫn, tạo dòng kích cho TRIAC dẫn điện. Hết bán kỳ dương TRIAC tạm ngưng. Đến bán kỳ âm tụ tụ C nạp điện theo chiều ngược lại đến điện thế $-V_{BO}$, DIAC lại dẫn điện kích TRIAC dẫn điện. Ta thay đổi V_R để thay đổi thời hằng nạp điện cho tụ C, do đó thay đổi góc dẫn cuat TRIAC sẽ làm thay đổi độ sáng của đèn.

CHƯƠNG 5: LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ VÀ MẠCH ỨNG DỤNG

5.1 Khái niệm chung

5.1.1 Định nghĩa

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử.

Bức xạ ánh sáng là 1 dạng của bức xạ điện từ có dải bước sóng từ 0,001 nm đến 1cm. Sự thay đổi trạng thái năng lượng trong nguyên tử và phân tử là nguồn gốc của các bức xạ ánh sáng đó.

Các bức xạ quang được chia thành 3 vùng là:

Vùng cực tím	Độ dài bước sóng từ 100 nm đến 380 nm
Vùng ánh sáng nhìn thấy	Độ dài bước sóng từ 380 đến 780 nm
Vùng hồng ngoại	Độ dài bước sóng từ 780 nm đến 1 mm

5.1.2 Phân loại linh kiện quang điện tử

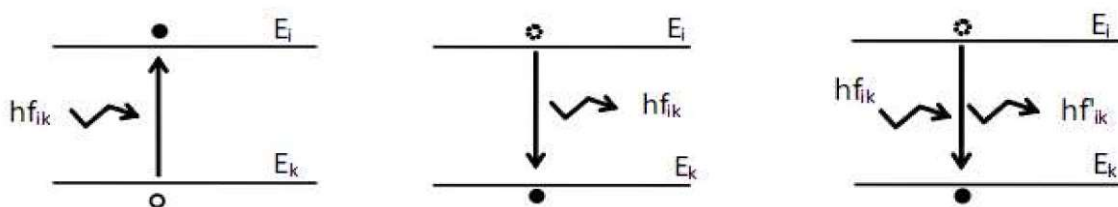
Gồm 2 loại linh kiện là linh kiện bán dẫn và linh kiện không bán dẫn.

* Linh kiện bán dẫn quang điện tử là những linh kiện thể rắn được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, diode quang, transistor quang, LED, PiN, Laser, APD ...

* Linh kiện không bán dẫn quang điện tử là sợi quang, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang ...

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất gồm có 3 quá trình: quá trình hấp thụ, quá trình phát xạ tự phát và quá trình phát xạ kích thích.



Quá trình hấp thụ

Quá trình bức xạ tự phát

Quá trình bức xạ kích

Hình 6.1. Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

$$hf = E_i - E_k$$

E_i : năng lượng kích thích

E_k : năng lượng cơ bản

- Quá trình hấp thụ:

Quá trình hấp thụ là qt mà tại đó khi có một photon tương tác với vật chất thì một điện tử ở mức năng lượng cơ bản E_k sẽ nhận thêm năng lượng của photon và nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i

- Quá trình phát xạ tự phát:

Bức xạ tự phát là quá trình mà các điện tử nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i , nhưng chúng nhanh chóng trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát ra photon có năng lượng $h\nu$. Mỗi một phát xạ tự phát ta thu được một photon. Hiện tượng này xảy ra không có sự kích thích bên ngoài nào và được gọi là quá trình phát xạ tự phát. Phát xạ này đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên.

- Quá trình phát xạ kích thích:

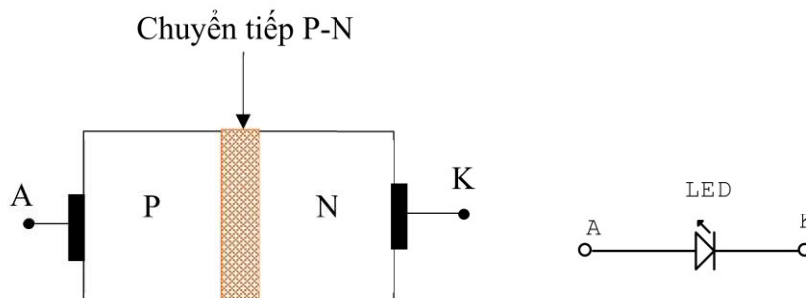
Nếu có một photon có năng lượng $h\nu$ tới tương tác với vật chất mà trong lúc đó có một điện tử đang còn ở trạng thái kích thích E_i , thì điện tử này được kích thích và ngay lập tức nó di chuyển trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát xạ ra một photon khác có năng lượng cũng đúng bằng Photon mới phát xạ ra này có cùng pha với photon đi đến và được gọi là phát xạ kích thích (hay phát xạ cảm ứng)

5.2. Diode phát quang (LED: Light Emitting Diode)

5.2.1. Cấu tạo

Vật liệu chế tạo điốt phát quang đều là các liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêep như GaAs, hoặc liên kết 3 nguyên tố như GaAsP... Đây là các vật liệu tái hợp trực tiếp, có nghĩa là sự tái hợp xảy ra giữa các điện tử ở sát đáy dải dẫn và các lỗ trống ở sát đỉnh dải hóa trị.

LED có cấu tạo gồm một lớp tiếp xúc P-N, Diode phát quang được làm từ các chất Ga – As, Ga – P, Ga As – P, Si – C. Nồng độ hạt dẫn của P và N rất cao nên điện trở của chúng rất nhỏ. Do đó khi mắc LED phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn dòng.



Hình 6.2. Cấu tạo và ký hiệu của LED

-Diode Ga-As cho ra ánh sáng hồng ngoại mà mắt nhìn không thấy được.

-Diode Ga As-P cho ra ánh sáng khả kiến, khi thay đổi hàm lượng photpho sẽ cho ra ánh sáng khác nhau như đỏ, cam, vàng.

-Diode Ga - P pha thêm tạp chất sẽ bức xạ cho ánh sáng. Tùy loại tạp chất mà diode có thể cho ra các màu từ đỏ, cam, vàng, xanh lá cây.

-Diode Si-C khi pha thêm tạp chất sẽ cho ra ánh sáng màu xanh da trời. LED màu xanh da trời chưa phổ biến vì giá thành cao.

5.2.2. Nguyên lý hoạt động

Dựa trên hiệu ứng phát sáng khi có hiện tượng tái hợp điện tử và lỗ trống ở vùng chuyển tiếp P – N. LED sẽ phát quang khi được phân cực thuận, nghĩa là biến đổi năng lượng điện thành năng lượng quang. Cường độ phát quang tỉ lệ với dòng qua LED.

Khi LED phân cực thuận, các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N, chúng gặp nhau sẽ tái hợp và các photon được phát sinh.

Tốc độ tái hợp trong quá trình bức xạ tự phát này tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn P và nồng độ lỗ trống trong phần bán dẫn N. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Như vậy, để tăng số photon bức xạ ra cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn.

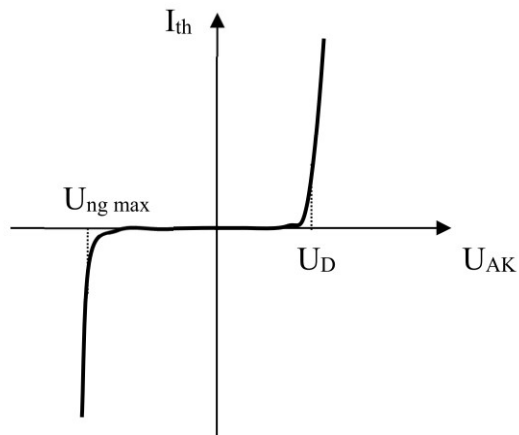
Cường độ dòng điện của diode tỉ lệ với nồng độ hạt dẫn được "chích" vào các phần bán dẫn, do đó cường độ phát quang của LED tỉ lệ với cường độ dòng điện qua diode.

Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do đó, các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và điện áp phân cực cho chúng cũng khác nhau.

5.2.3. Đặc tuyến Volt-Ampe của LED

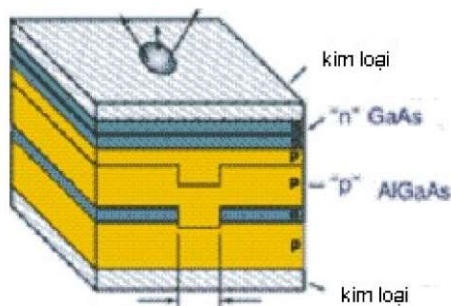
Đặc tuyến V- A của LED giống như của diode thông thường.

Điện áp phân cực thuận tương đối cao ($1,6 \text{ V} \div 3 \text{ V}$) và có điện áp ngược cho phép tương đối thấp ($3 \text{ V} \div 5 \text{ V}$), dòng I_D khoảng vài chục mA.



Hình 6.3 Đặc tuyến V- A của LED

Để tăng cường tính định hướng cho LED, người ta thường cấu tạo LED với một lỗ cho ánh sáng đi qua. Có hai loại LED là SLED (LED phát xạ mặt) và ELED (LED phát xạ cạnh). Dưới đây là hình minh họa cho việc lấy ánh sáng ra của một SLED.



5.2.4. Tham số của LED

Về nguyên tắc tất cả các chuyển tiếp P – N đều có khả năng phát ra ánh sáng khi được phân cực thuận nhưng chỉ có một số loại vật liệu tái hợp trực tiếp mới cho hiệu suất tái hợp cao.

Một số loại LED thông dụng:

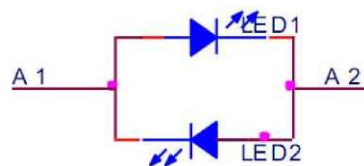
Vật liệu	E_g (eV)	Bước sóng λ (nm)	Vùng bức xạ	U_D ($I=20mA$)	U_{ng}
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	1,6 – 1,8	5
GaAsP	1,9	660	đỏ	1,6 – 1,8	5
GaAlAs	1,91	650	đỏ	1,6 – 1,8	5
GaAsP	2	635	Cam	2 - 2,2	5

GaAsP	2,1	585	Vàng	2,2 – 2,4	5
GaAsP	2,2	565	Xanh lá cây	2,4 – 2,7	5
GaP	2,24	560	Xanh lá cây	2,7 – 3	5
SiC	2,5	490	Xanh da trời	3	5
GaNO ₂	3,1	400	Tím	3	5

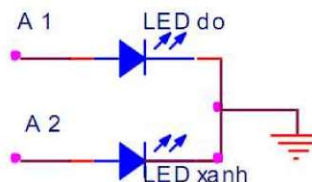
5.2.5 Phân loại và ứng dụng của LED

a. *LED 2 màu*: có một LED đỏ và một LED xanh lá cây hay một LED vàng và một LED xanh lá cây.

- Loại LED hai màu thường để chỉ cực tính của nguồn hay chiều quay của động cơ.



b. *LED 3 màu*: Nếu A₁ có điện áp dương thì LED đỏ sáng, nếu A₂ có điện áp dương thì LED xanh sáng, nếu A₁ A₂ có điện áp dương thì 2 LED đều sáng và cho ra ánh sáng màu vàng.



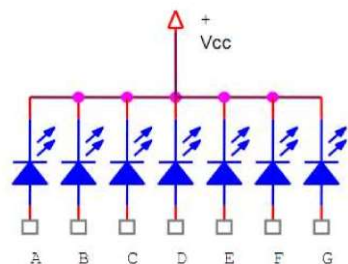
c. *LED bảy đoạn*

LED bảy đoạn có loại anode chung và loại cathode chung. Hiện nay LED bảy đoạn được dùng nhiều trong các thiết bị chỉ thị số. Hình dưới đây biểu diễn các ký tự hiển thị của LED 7 đoạn.

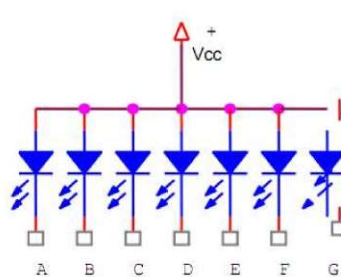


LED bảy đoạn là tập hợp bảy LED được chế tạo dạng thanh dài sắp xếp như hình vẽ trên và được ký hiệu bằng bảy chữ cái là a, b, c, d, e, f, g. Phần phụ của LED bảy

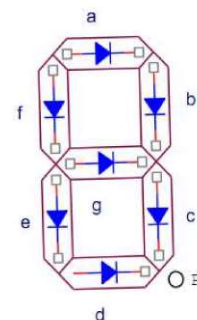
đoạn là một chấm sáng (p) để chỉ dấu phẩy thập phân. Dấu chấm này là một LED p tương ứng được phát sáng. Khi cho các thanh sáng với các số lượng và vị trí thích hợp ta có những chữ số từ 0 đến 9 và những chữ cái từ A đến F.



LED Cathode chung

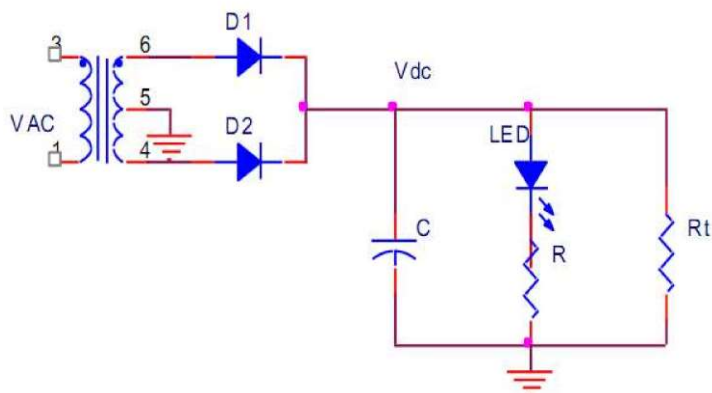


LED Anode chung



5.2.6. Ứng dụng

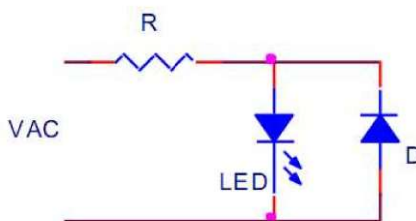
a. Mạch bảo nguồn DC



Khi sử dụng LED điều quan trọng là phải tính điện trở nối tiếp với LED có trị số thích hợp để tránh dòng điện qua LED quá lớn sẽ làm hư LED. Điện trở trong mạch bảo nguồn DC được tính theo công thức:

$$R = \frac{V_{DC} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

b. Mạch bảo nguồn AC



Trong mạch báo nguồn AC, LED chỉ sáng khi được phân cực thuận bằng bán kỳ thích hợp, khi LED bị phân cực nghịch thì diode D được phân cực thuận nên dẫn điện để giữ cho mức điện áp ngược trên LED là $V_D = 0,7V$ tránh hư LED.

Điện trở trong mạch báo nguồn AC được tính theo công thức:

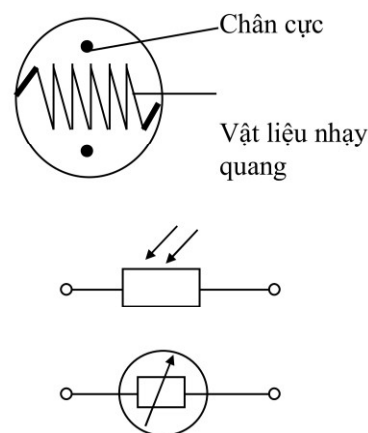
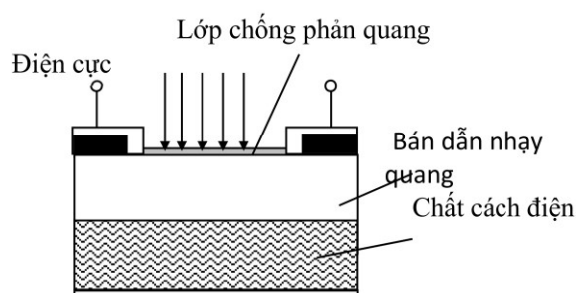
$$R = \frac{V_{AC} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

5.3. Điện trở quang (LDR-Light Dependent Resistor)

5.3.1. Cấu tạo và ký hiệu

Là bộ thu tín hiệu quang đơn giản nhất. Quang trở thường được làm bằng chất Sunfit Cadimium (CdS), Selenid Cadimium (CdSe), Sunfit chì (PbS)... trong đó loại quang trở CdS có độ nhạy phổ gần với mắt người nên thông dụng nhất.

Điện trở quang gồm :



+ Một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang (có bề dày từ $1\ \mu m$ đến $0,1\ mm$, tùy theo vật liệu sử dụng và công nghệ chế tạo)

+ Để là chất cách điện

+ Tất cả được phủ một lớp chống ẩm trong suốt đối với vùng ánh sáng hoạt động của quang trở.

+ Vỏ bọc bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua

5.3.2. Nguyên lý hoạt động

Khi chiếu ánh sáng vào lớp vật liệu nhạy quang thì các cặp điện tử – lỗ trống sẽ xuất hiện làm cho nồng độ hạt dẫn điện tăng lên, nói cách khác là điện trở của khối bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn nhạy quang được tính theo công thức:

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

với μ_n, μ_p là độ linh động của điện tử và lỗ trống

n, p là nồng độ hạt dẫn của điện tử và lỗ trống

Như vậy, điện trở của quang trở phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào, nghĩa là cường độ dòng qua điện trở thay đổi. Nói cách khác, sự biến đổi cường độ ánh sáng đã chuyển thành sự biến đổi của cường độ dòng điện trong mạch, hay tín hiệu quang đã được chuyển thành tín hiệu điện.

5.3.3. Các tham số chính của quang trở

+ Điện dẫn suất σ_p là hàm số của mật độ quang khi độ dài bước sóng thay đổi.

+ Độ nhạy tương đối của quang trở $S(\lambda)$ là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng và điện dẫn suất cực đại khi mật độ năng lượng quang không thay đổi.

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p\max}(\lambda)} \bigg| \rho_p(\lambda) = \text{const}$$

+ Thời gian đáp ứng là thời gian hồi đáp của quang trở khi có sự thay đổi cường độ sáng

Thông thường khi cường độ ánh sáng mạnh quang trở làm việc nhanh hơn.

+ Hệ số nhiệt của quang trở

Hệ số này tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do vậy quang trở cần làm việc ở mức chiếu sáng tốt nhất để giảm thiểu sự thay đổi trị số theo nhiệt độ.

+ Điện trở tối R_d

R_d là điện trở trong điều kiện không được chiếu sáng của quang trở, nó sẽ cho biết dòng tối (hay dòng rò) lớn nhất.

+ Công suất tiêu tán lớn nhất

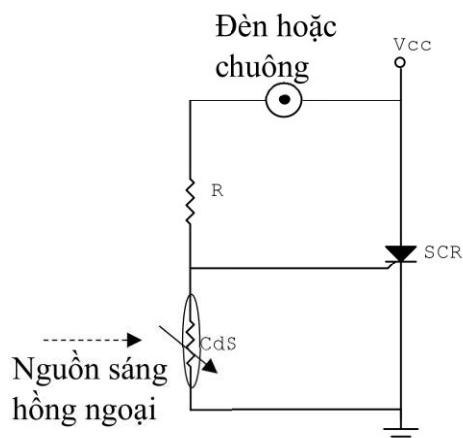
Khi hoạt động cần giữ cho nhiệt độ của quang trở nhỏ hơn nhiệt độ cho phép. Kích thước của quang trở càng lớn thì khả năng tiêu tán nhiệt càng tốt.

Vật liệu chế tạo sẽ giới hạn dải nhiệt độ của quang trở từ 40 – 75°C

5.3.4 Ứng dụng

Dùng trong các mạch thu tín hiệu quang, trong báo động, đóng ngắt các mạch điện, trong đo đạc, điều khiển và tự động hoá.

a. Mạch báo động

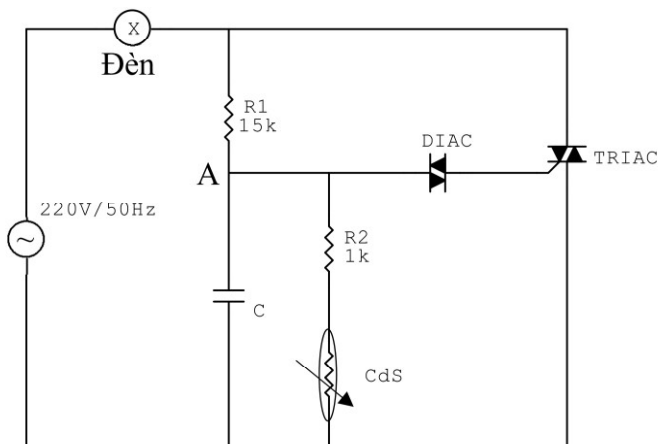


Khi quang điện trở được chiếu sáng (trạng thái thường trực) có điện trở nhỏ, điện thế cổng của SCR giảm nhỏ không đủ dòng kích nên SCR ngưng. Khi nguồn sáng bị chắn, R tăng nhanh, điện thế cổng SCR tăng làm SCR dẫn điện, dòng điện qua tải làm cho mạch báo động hoạt động.

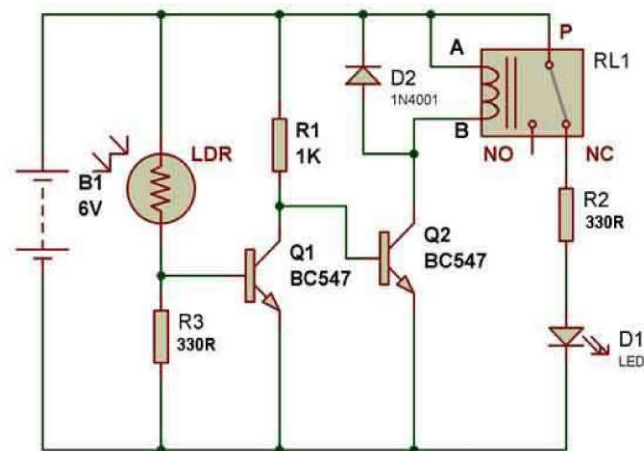
Người ta cũng có thể dùng mạch như trên, với tải là một bóng đèn để có thể cháy sáng về đêm và tắt vào ban ngày. Hoặc có thể tải là một relais để điều khiển một mạch báo động có công suất lớn hơn.

b. Mạch mở điện tự động về đêm dùng điện AC

Ban ngày, trị số của quang điện trở nhỏ. Điện thế ở điểm A không đủ để mở Diac nên Triac không hoạt động, đèn tắt. về đêm, quang trở tăng trị số, làm tăng điện thế ở điểm A, thông Diac và kích Triac dẫn điện, bóng đèn sáng lên.



c. Mạch tự động đóng/mở Relay



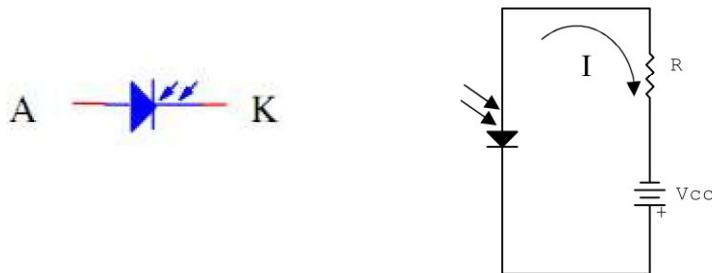
5.4 Diode quang (Photodiode)

5.4.1 Cấu tạo

Diode quang có cấu tạo bán dẫn giống như diode thường nhưng đặt trong vỏ cách điện có một mặt là nhựa hay thủy tinh trong suốt để nhận ánh sáng bên ngoài chiếu vào mối nối P-N của diode, có loại dùng thấu kính hội tụ để tập trung ánh sáng.

- Đặc điểm: rất tuyến tính, ít nhiễu, dải tần số làm việc rộng, nhẹ, có độ bền cơ học cao và tuổi thọ cao.

- Diode quang không nhạy bằng điện trở quang loại CdS nhưng nó làm việc nhanh gấp nhiều lần.



5.4.2. Nguyên lý hoạt động

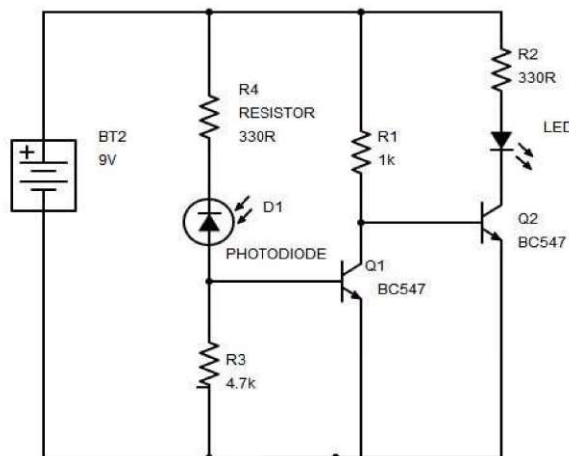
Ta biết rằng, khi một mối P-N được phân cực thuận thì vùng nghèo hẹp và dòng thuận lớn vì do hạt tải điện đa số (điện tử ở chất bán dẫn loại N và lỗ trống ở chất bán dẫn loại P) di chuyển tạo nên. Khi phân cực nghịch, vùng nghèo rộng và chỉ có dòng điện rỉ nhỏ (dòng bão hòa nghịch I_0) chạy qua.

Khi tiếp xúc P-N được phân cực nghịch, khi chiếu sáng ánh sáng vào mối nối (giả sử diode được chế tạo trong suốt), ta thấy dòng điện nghịch tăng lên gần như tỉ lệ với quang thông trong lúc dòng điện thuận không tăng.

Khi ánh sáng chiếu vào nối P-N có đủ năng lượng làm phát sinh các cặp điện tử - lỗ trống ở sát hai bên mỗi nối làm mật độ hạt tải điện thiểu số tăng lên. Các hạt tải điện thiểu số này khuếch tán qua mỗi nối tạo nên dòng điện đáng kể cộng thêm vào dòng điện bão hòa nghịch I_0 tự nhiên của diode, thường là dưới vài trăm nA với quang diode Si và dưới vài chục μA với quang diode Ge. Độ nhạy của quang diode tùy thuộc vào chất bán dẫn là Si, Ge hay Selenium...

Khi photodiode được phân cực thuận thì hai trường hợp mỗi nối P-N được chiếu sáng hay che tối dòng điện thuận qua diode hầu như không đổi. Ngược lại diode bị phân cực nghịch, mỗi nối P - N được chiếu sáng thì dòng điện nghịch tăng lên lớn hơn nhiều lần so với khi bị che tối. Do nguyên lý trên nên diode quang được sử dụng ở trạng thái phân cực ngược trong các mạch điều khiển ánh sáng.

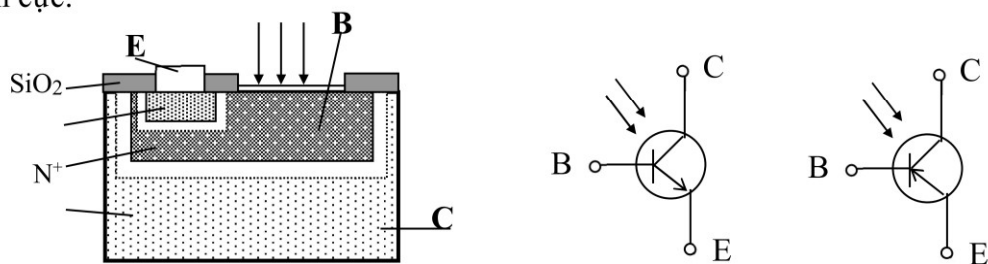
5.4.3 Mạch tự động đóng/mở đèn



5.5 Transistor quang (Phototransistor)

5.5.1. Cấu tạo

Transistor quang cũng giống như transistor thường nhưng cực base để hở. Transistor quang được chế tạo từ chất bán dẫn Si, Ge. Nó có 2 chuyển tiếp P - N, có 2 hoặc 3 chân cực.



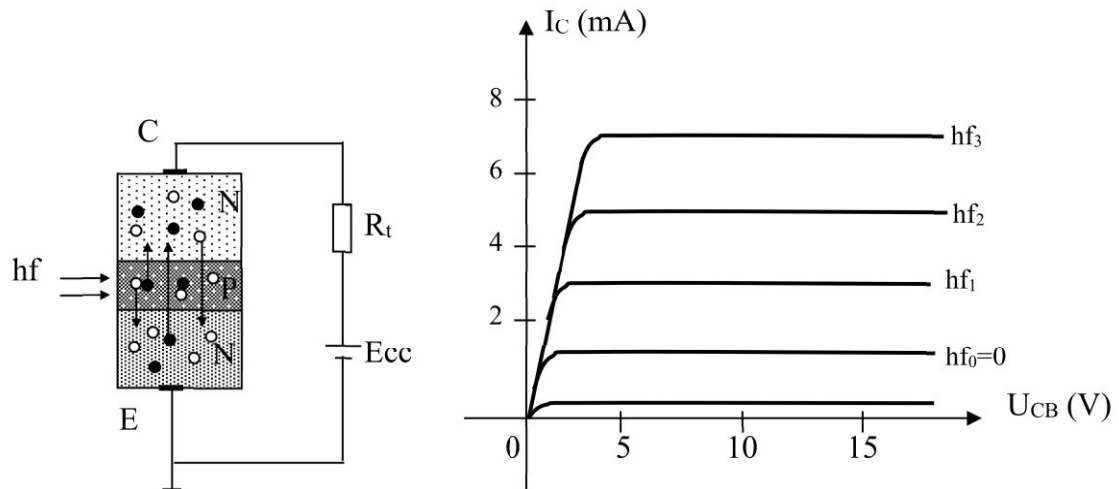
Hình 6. Cấu tạo và ký hiệu Transistor quang

Transistor quang có một thấu kính trong suốt để tập trung ánh sáng vào nối P-N giữa C và B.

Transistor quang có 2 loại là P-N-P và N-P-N. Cực phát E là bán dẫn loại N+ có nồng độ tạp chất cao, cực gốc B là bán dẫn loại P, và cực góp C là bán dẫn loại N có nồng độ tạp chất thấp.

Cực gốc B có bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ và thường để trống (phủ lớp phản quang).

5.5.2 Nguyên lý hoạt động



Nguồn cung cấp E_{cc} tạo cho chuyển tiếp phát phân cực thuận và chuyển tiếp góp phân cực ngược.

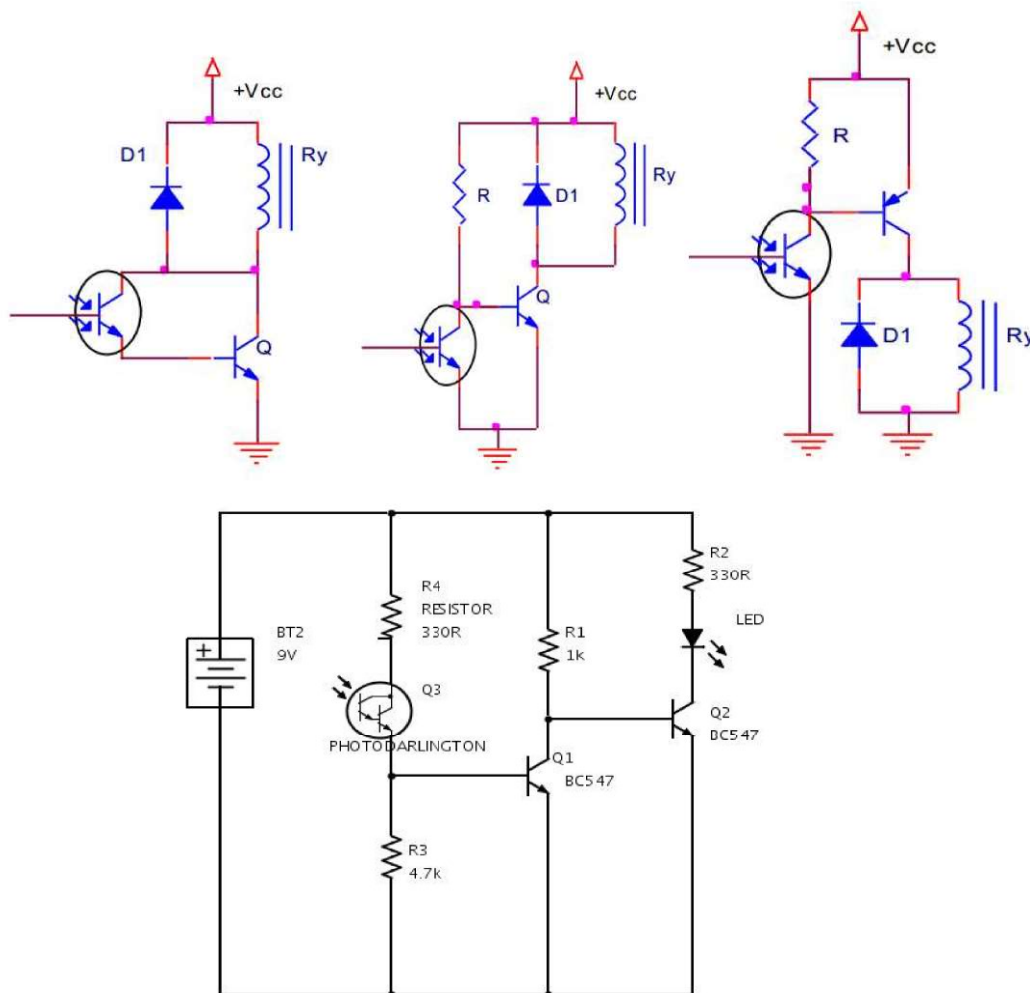
Tải R_t để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho C và lấy tín hiệu điện ra.

Khi không có ánh sáng chiếu vào (không có tín hiệu quang hay $hf = 0$, $I_B = 0$) trong mạch chỉ có dòng tối $I_{Ctối}$. Đây là dòng điện do điện tử khuếch tán từ phần phát sang phần góp và có trị số nhỏ.

Khi có tín hiệu quang đến, trong phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử - lỗ trống. Các điện tử sẽ di chuyển về cực góp, lỗ trống di chuyển về phía cực phát tạo thành dòng quang điện I_p . Các lỗ trống tập trung ở tiếp giáp phát làm cho tiếp giáp phát phân cực thuận càng mạnh, mặt khác điện tử tập trung ở tiếp giáp góp làm cho nó phân cực ngược càng mạnh. Kết quả là điện tử dễ dàng đi từ E, qua B và sang C làm cho dòng điện cực góp I_C tăng rõ rệt.

5.5.3 Ứng dụng

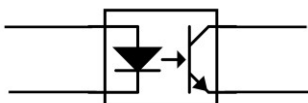
Mạch như hình vẽ dùng transistor quang ráp Darlington với transistor công suất để điều khiển role RY. Khi được chiếu sáng quang transistor dẫn làm transistor công suất dẫn cấp điện cho rele RY.



5.6 Bộ ghép quang

5.6.1 Cấu tạo: Bộ ghép quang gồm 2 thành phần gọi là sơ cấp và thứ cấp. Phần sơ cấp là một điốt loại GaAs phát ra tia hồng ngoại, phần thứ cấp là một Transistor quang loại Silic. Khi được phân cực thuận, điốt phát ra bức xạ hồng ngoại chiếu lên trên mạch của Transistor quang.

Ký hiệu:



5.6.2 Nguyên lý: Phần sơ cấp là LED hồng ngoại biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu ánh sáng. Tín hiệu ánh sáng này sẽ được phần thứ cấp (Transistor quang) biến đổi lại thành tín hiệu điện.

5.6.3 Đặc trưng kỹ thuật

- Bộ ghép quang được dùng để cách điện giữa hai mạch điện có điện áp cách biệt lớn. Điện áp cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp thường từ vài trăm volt đến hàng ngàn volt.

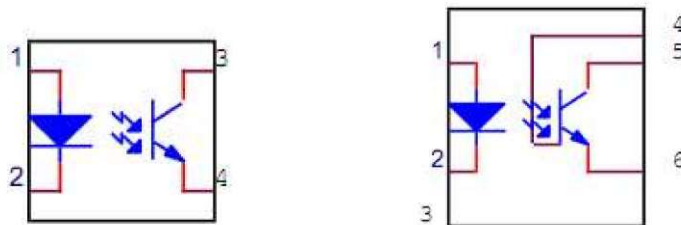
- Bộ ghép quang có thể làm việc với dòng điện một chiều hay tín hiệu điện xoay chiều có tần số cao.

- Điện trở cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp có trị số rất lớn thường khoảng vài chục đến vài trăm M Ω đối với dòng điện một chiều.

- Hệ số truyền đạt dòng điện là tỉ số phần trăm của dòng điện ra ở thứ cấp I_C với dòng điện vào ở sơ cấp I_F . Đây là thông số quan trọng của bộ ghép quang thường có trị số từ vài chục phần trăm đến trăm phần trăm tùy loại bộ ghép quang.

5.6.4 Các bộ ghép quang

a. Bộ ghép quang Transistor



Thứ cấp của bộ ghép quang này là phototransistor loại Silic. Đối với bộ ghép quang transistor có bốn chân thì transistor không có cực B. Trường hợp bộ ghép quang có sáu chân thì cực B được nối ra ngoài như hình vẽ trên.

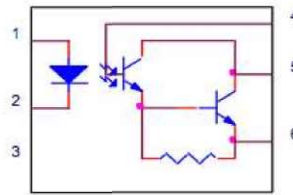
Bộ ghép quang không có cực B có ưu điểm là hệ số truyền đạt lớn, nhưng có nhược điểm là độ ổn định nhiệt kém.

Nếu nối giữa cực B và E một điện trở thì các bộ ghép quang transistor này làm việc khá ổn định với nhiệt độ nhưng hệ số truyền đạt bị giảm đi.

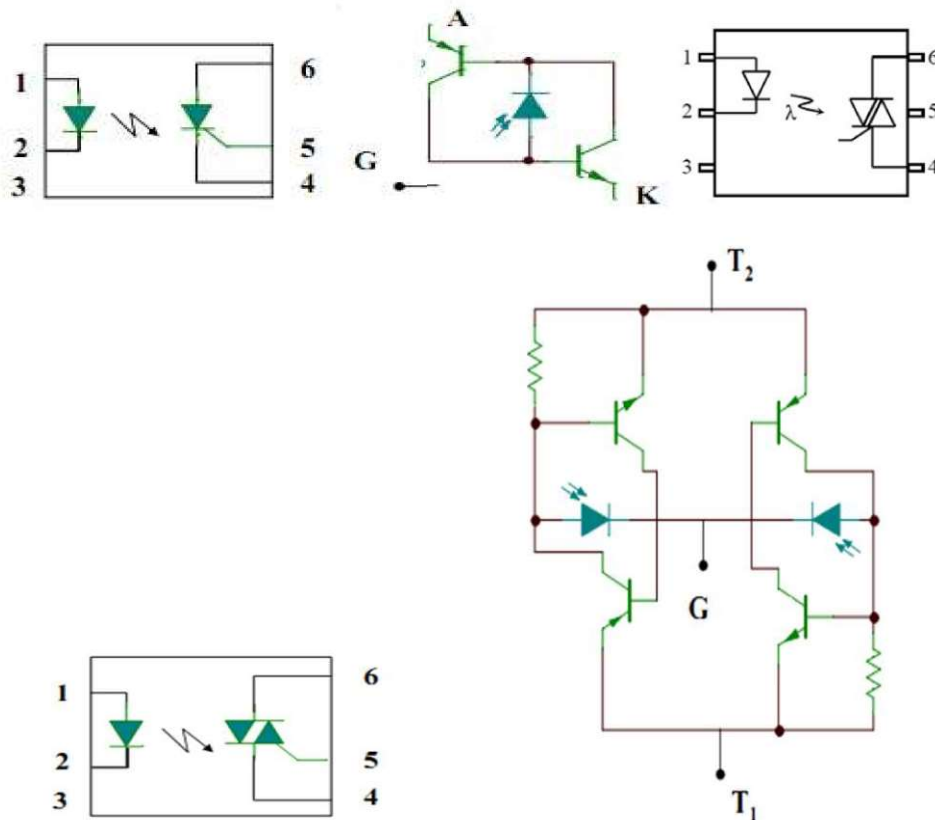
b. Bộ ghép quang Darlington – Transistor

- Có nguyên lý như bộ ghép quang với quang transistor nhưng với hệ số truyền đạt lớn hơn vài trăm lần nhờ tính chất khuếch đại của mạch Darlington.

- Nhược điểm: ảnh hưởng bởi nhiệt độ rất lớn nên giữa chân B và E của transistor sau thường có điện trở để ổn định nhiệt.



c. Bộ ghép quang Thyristor



- Gồm một photodiode và một Transistor quang

- Khi có ánh sáng hồng ngoại do LED ở sơ cấp chiếu vào điốt quang thì sẽ có dòng điện I_B cấp cho transistor NPN và khi transistor NPN dẫn thì sẽ điều khiển transistor PNP dẫn điện. Như vậy thyristor quang đã được dẫn điện và sẽ duy trì trạng thái dẫn mà không cần kích liên tục ở sơ cấp.

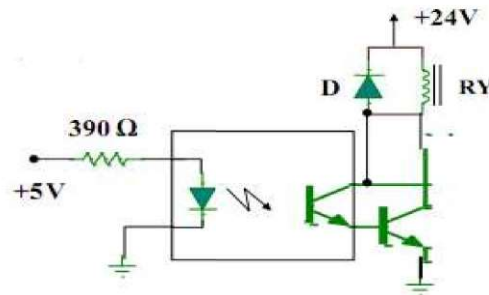
- Để tăng khả năng chống nhiễu người ta nối giữa chân G và K bằng một điện trở từ vài $K\Omega$ ÷vài chục $K\Omega$.

5.6.5 Ứng dụng

- Các loại bộ ghép quang có dòng điện ở sơ cấp cho LED hồng ngoại khoảng 10 mA.

- Đối với transistor quang khi thay đổi trị số dòng điện qua LED hồng ngoại ở sơ cấp sẽ làm thay đổi dòng điện ra IC của transistor quang ở thứ cấp.
- Các bộ ghép quang có thể dùng thay cho rơle hay biến áp xung để giao tiếp với tải thường có điện áp cao và dòng điện lớn.

a. Mạch điện điều khiển đóng ngắt Rơle

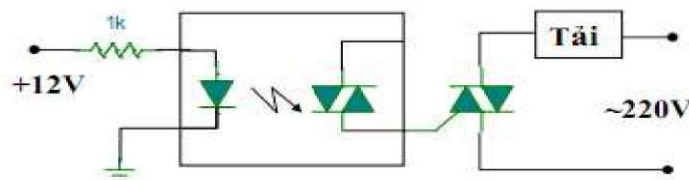


- Transistor quang trong bộ ghép quang được ghép Darlington với transistor công suất bên ngoài.

- Khi LED hồng ngoại ở sơ cấp được cấp được cấp nguồn 5V thì transistor quang dẫn điều khiển transistor công suất dẫn để cấp điện cho rơle RY.

- Điện trở 390Ω để giới hạn dòng qua LED hồng ngoại khoảng 10mA.

b. Mạch ứng dụng của OPTO- Triac để đóng ngắt điện cho tải dùng nguồn xoay chiều 220V



- Điện trở $1k\Omega$ để giới hạn dòng qua LED hồng ngoại khoảng 10mA.

- Khi LED sơ cấp được cấp nguồn 12V thì triac quang sẽ được kích và dẫn điện tạo dòng kích cho triac công suất.

- Khi triac công suất được kích sẽ dẫn điện như một công tắc để đóng điện cho tải.

CHƯƠNG 6: VI MẠCH ĐIỆN TỬ (IC) CƠ BẢN VÀ MẠCH ỨNG DỤNG

6.1 Khái niệm chung về vi mạch điện tử

Vi mạch hay vi mạch tích hợp (integrated circuit, gọi tắt IC, còn gọi là chip theo thuật ngữ tiếng Anh) là tập các mạch điện chứa các linh kiện bán dẫn (như transistor, diode,...) và linh kiện điện tử thụ động (như điện trở, tụ điện) được kết nối với nhau, để thực hiện được một chức năng xác định. Tức là mạch tích hợp được thiết kế để đảm nhiệm một chức năng như một linh kiện phức hợp.

Vi mạch ngày càng được sử dụng nhiều với những vai trò và tiện ích. IC được tìm ra bởi một kỹ sư người Đức, ông chế tạo ra một thiết bị khuếch đại khá giống với mạch tích hợp với 5 transistor. Sau này nó được phát triển thành thiết bị trợ thính. Sau đó là sự ra mắt vi mạch đầu tiên trên thế giới của Jack Kilby. Và tiếp theo đó Robert Noyce đã phát triển mạch tích hợp lên một tầm cao mới khi mà vi mạch này giải quyết được những tồn tại mà phiên bản của Kilby chưa làm được. Với nguyên liệu từ Silicon, vi mạch này nhanh chóng vượt qua mạch tích hợp trước đây đánh dấu một bước tiến lớn về vật lý. IC giúp mạch tích hợp giảm đi các kích thước của mạch điện. Đồng thời nhờ vào IC mà độ chính xác của thiết bị tăng lên. Đặc biệt công dụng của IC còn tăng lên rất nhiều trong các mạch logic.

Hiện nay, công nghệ silicon đang tiến tới những giới hạn của vi mạch tích hợp và các nhà nghiên cứu đang nỗ lực tìm ra một loại vật liệu mới có thể thay thế công nghệ silicon này.

Phân loại IC

Ta có thể phân loại IC dựa vào một vài tiêu chí như: **tín hiệu** xử lý, công nghệ, mức độ tích hợp, công dụng. Các IC được thiết kế đa dạng với những đặc điểm khác biệt nhau có thể kể đến.

Theo tín hiệu xử lý:

- IC digital: Xử lý các tín hiệu Digital
- IC analog xử lý tín hiệu Analog
- IC hỗn hợp: Xử lý 2 loại tín hiệu trên cùng nhau.

Theo mức độ tích hợp có thể chia thành: SSI và MSI, LSI, VLSI (CPU, GPU, ROM, RAM, PLA...), ULSI.

Theo công nghệ:

- Monolithic: tất cả các phần tử đặt trên một miếng nền vật liệu bán dẫn đơn tinh thể

- Mạch màng mỏng hay mạch phim là những phân tử được tạo bằng lắng đọng hơi trên nền thủy tinh. Nó thường là các mạng điện trở
- Lai mạch màng dày kết hợp một số chip, vết mạch in đường dây dẫn, linh kiện điện tử thụ động. Nền thường là gốm và thường được nhúng tráng.

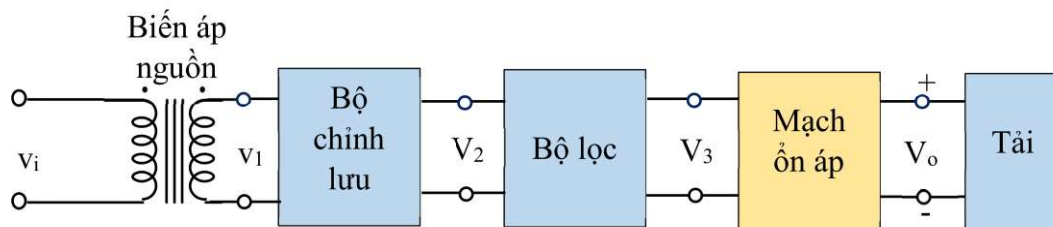
Theo công dụng

- CPU được xem là bộ vi xử lý của máy tính ngày nay.
- Memory, bộ nhớ lưu trữ dữ liệu digital
- Công nghệ RFID để giám sát sử dụng cho khóa cửa điện tử chống trộm cao cấp hiện nay
- ASIC với công dụng điều khiển các lò nướng, các thiết bị xe hơi, máy giặt...
- ASSP là sản phẩm tiêu chuẩn cho ứng dụng cụ thể tương tự ASIC
- IC cảm biến quá trình như gia tốc, ánh sáng, từ trường, chất độc,...
- DSP xử lý tín hiệu Digital
- ADC và DAC, chuyển đổi analog - digital
- FPGA được cấu hình bởi các IC digital của khách hàng.
- Vi điều khiển (microcontroller) chứa tất cả các bộ phận của một máy tính nhỏ.
- IC công suất có thể xử lý các dòng hay điện áp lớn.
- System-on-a-chip (SoC) là hệ thống trong một chip

6.2 IC ổn áp và nguồn một chiều

6.2.1 IC ổn áp

a. Sơ đồ khối của bộ nguồn ổn áp một chiều



Hình 7.1. Sơ đồ khối nguồn ổn áp một chiều

- Biến áp: Biến đổi điện áp xoay chiều trên sơ cấp V_i thành điện áp xoay chiều trên thứ cấp V_1 theo yêu cầu sử dụng.
- Bộ chỉnh lưu: Biến đổi điện áp xoay chiều V_1 thành điện áp một chiều V_2 .

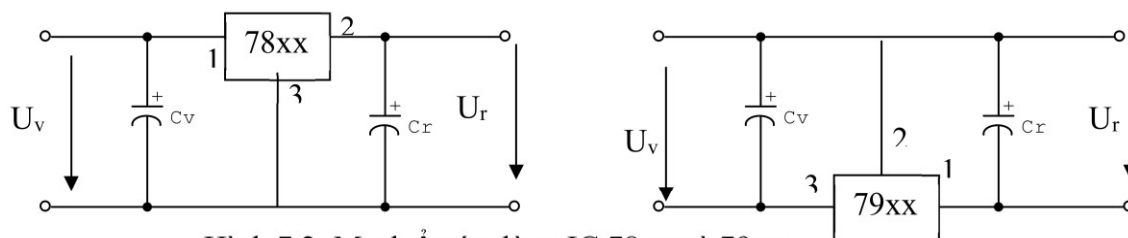
- Bộ lọc: Lọc bớt các hài tần số cao để được điện áp V_3 bớt gợn hơn.
- Mạch ổn áp: Giữ cho điện áp ra V_o trên tải luôn bằng phẳng.

b. IC cho điện áp ra không đổi

Ổn áp dương: Họ 78xx là các IC có điện áp đầu ra cố định dùng cho nguồn dương và dễ lắp đặt, rất thuận tiện cho các bộ nguồn cung cấp cho các bản mạch. Hai số xx chỉ rõ điện áp ra ổn định.

Ổn áp âm : Họ 79xx cũng giống như họ 78xx nhưng dùng cho nguồn âm.

Cách mắc 78xx và 79xx như hình 7.2



Hình 7.2. Mạch ổn áp dùng IC 78xx và 79xx

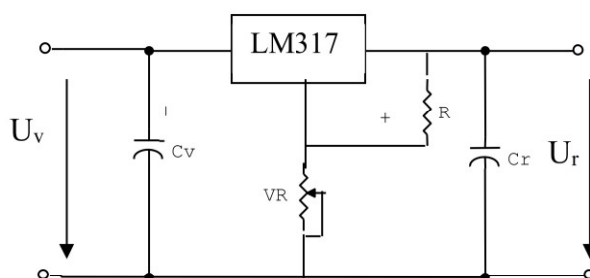
Tụ đầu vào thường có điện dung $C_v = 470 \mu F \div 2200 \mu F$. Tụ đầu ra thường có điện dung $C_r = 5 \mu F \div 100 \mu F$. Để đảm bảo điện áp ra ổn định, điện áp vào thường phải đảm bảo $U_v = (1,2 \div 1,8) U_r$

Với nguồn 2 cực tính ta dùng 2 IC 78xx và 79xx

c. IC cho điện áp ra thay đổi

Loại IC ổn áp dương LM117, LM217, LM317

Loại IC ổn áp âm LM137, LM237, LM337



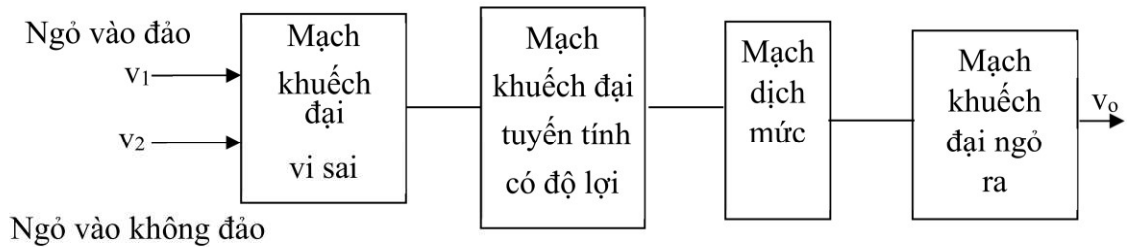
Hình 7.3. Mạch ổn áp dùng IC LM317

6.3 IC khuếch đại thuật toán (OPAMP)

6.3.1 Khái niệm về khuếch đại thuật toán (Operational Amplifier)

a. Cấu tạo, ký hiệu

Mạch khuếch đại thuật toán (OP-AMP) có ngõ vào khuếch đại vi sai và có độ lợi rất lớn, thường hơn 105 (hơn 100dB). Một mạch OP-AMP thường có 4 tầng như hình 6.1:



Hình 7.4. Sơ đồ khối của mạch OP-AMP

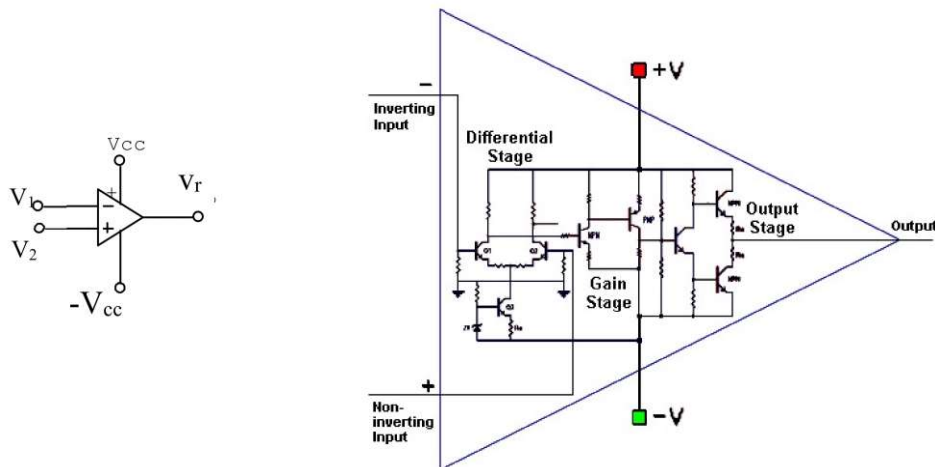
Tầng đầu là mạch khuếch đại vi sai, thường sử dụng BJT ghép Darlington hay FET (để nâng điện trở vào r_i). Mạch khuếch đại vi sai có thể dùng điện trở R_E hay nguồn dòng.

Tầng thứ hai là mạch khuếch đại có độ lợi cao, thường cũng là một mạch khuếch đại vi sai.

Nếu điện áp dc tại ngõ ra của tầng thứ hai $\neq 0V$ khi $v_1 = v_2 = 0V$ thì một mạch dịch mức sẽ được sử dụng (tầng 3).

Tầng sau cùng là một mạch khuếch đại ngõ ra thường là mạch khuếch đại đẩy kéo (push-pull) bổ phụ.

Một bộ KĐTT sẽ có hai đầu vào mà thực chất chính là 2 đầu vào của một bộ khuếch đại vi sai, tầng đầu của bộ KĐTT. Bộ KĐTT chỉ có một đầu ra duy nhất, hai đầu vào cấp nguồn và các chân bù điện áp, bù tần số ... (thông thường bộ KĐTT là IC có 8 chân).



Hình 7.5. Ký hiệu và sơ đồ đơn giản minh họa cấu trúc bên trong của bộ KĐTT

Điện áp đầu ra v_o tỷ lệ với hiệu số của điện thế giữa hai đầu vào, và cho bởi:

$$v_o = A_d.(v^+ - v^-).$$

Với A_d là hệ số khuếch đại áp, thường rất lớn cỡ 1 000 000 lần.

b. Các đặc trưng cơ bản của OPAMP

- Điện áp lệch không là điện áp đưa tới đầu vào để tạo điện áp 0 tại đầu ra. Điều này có nghĩa, khi không có điện áp tại đầu vào, đầu ra vẫn có một điện áp khác 0.
- Trở kháng vào rất lớn cỡ từ hàng trăm $K\Omega$ tới hàng $M\Omega$
- Trở kháng ra rất nhỏ cỡ từ hàng Ω tới vài chục Ω
- Hệ số khuếch đại A_d từ vài trăm tới hàng triệu lần.
- Đáp ứng tần số có giới hạn.

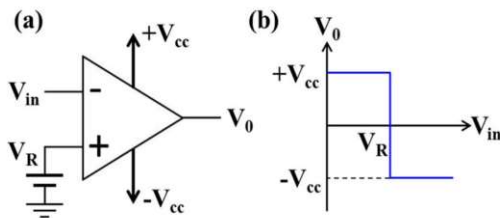
c. Khóa khuếch đại thuật toán

Tùy thuộc điện áp ở hai ngõ vào không đảo (+) và ngõ vào đảo (-) so với nhau mà OP-AMP sẽ ở một trong hai trạng thái sau :

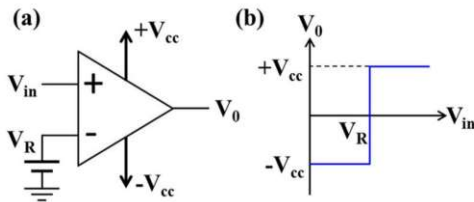
$V_{in+} > V_{in-}$ thì $V_0 = +V_{cc}$, gọi là trạng thái bão hoà dương.

$V_{in+} < V_{in-}$ thì $V_0 = -V_{cc}$, gọi là trạng thái bão hoà âm.

Điện áp V_{in} vào ngõ đảo, V_R vào ngõ không đảo



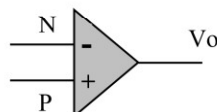
Điện áp V_{in} vào ngõ không đảo, V_R vào ngõ đảo



6.3.3 Các thông số đặc trưng của khuếch đại thuật toán (KĐTT)

a. Hệ số khuếch đại hiệu A_d

Hệ số khuếch đại hiệu A_d được định nghĩa như tỷ số điện áp đầu ra và điện áp đầu vào vi sai.



$$A_d = v_o/v_i$$

$$\text{với } v_i = V_P - V_N \quad (V_P = v^+, V_N = v^-)$$

b. Dòng vào tĩnh và điện áp lệch không.

Dòng vào tĩnh là giá trị trung bình của dòng vào đầu vào đảo và đầu vào không đảo khi không có tín hiệu vào.

$$I_t = \frac{I_P + I_N}{2} \text{ với } V_P = V_N = 0$$

Dòng vào lệch không là hiệu dòng vào ở hai đầu vào

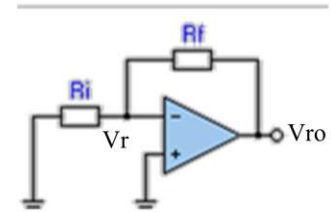
$$I_0 = I_P - I_N$$

Thông thường $I_0 = 0,1I_t$. Hai thông số này cho thấy tính không lý tưởng của bộ KĐTT thực, chúng phụ thuộc vào nhiệt độ.

Dòng vào lệch không là nguyên nhân gây ra hiệu điện áp lệch không.

Mạch như hình 7.7 sử dụng để đo điện áp lệch không. V_{ro} là điện áp đầu ra không mong muốn gây ra bởi điện áp V_r tại đầu vào.

$$V_{ro} = V_0 \frac{R_i}{R_i + R_f}$$



Hình 7.7

c. Tỷ số nén tín hiệu đồng pha

Tỷ số nén tín hiệu đồng pha CMRR (Common Mode Rejection Ratio).

Nếu đặt vào đầu vào đảo và đầu vào không đảo các điện áp bằng nhau thì theo lý thuyết v_o phải bằng 0. Nhưng trên thực tế lại không như vậy, lúc này sẽ có:

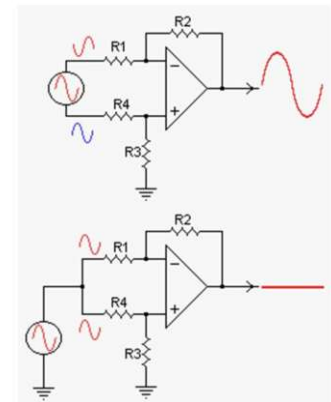
$$v_o = A_a \cdot v_{cm}$$

Với A_a là hệ số khuếch đại đồng pha (KĐTT lý tưởng $A_a = 0$, tức là $v_o = 0$ như hình bên)

$$v_{cm} = V_P = V_N$$

Để đánh giá khả năng làm việc của bộ KĐTT thực so với bộ KĐTT lý tưởng người ta đưa ra hệ số CMRR để so sánh giữa hệ số khuếch đại hiệu A_d và hệ số khuếch đại đồng pha.

$$CMRR = A_d / A_a \quad (\text{khoảng } 10^3 - 10^5)$$



Hình 7.8

6.3.4 Một số ứng dụng cơ bản của OPAMP

a. Mạch khuếch đại đảo:

Bộ khuếch đại đảo cho trên hình vẽ, có thực hiện hồi tiếp âm song song điện áp ra qua Rht. Đầu vào không đảo được nối với điểm chung của sơ đồ (nối đất). Tín hiệu vào qua R1 đặt vào đầu đảo của OA. Nếu coi OA là lý tưởng thì điện trở vào của nó vô

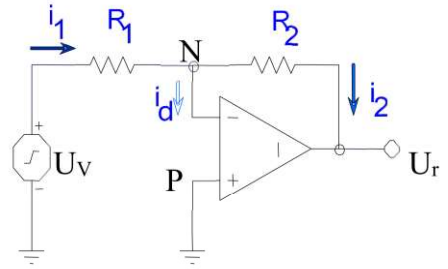
cùng lớn $R_v \rightarrow \infty$, và dòng vào OA vô cùng bé $I_d = 0$, khi đó tại nút N có phương trình nút dòng điện : $I_1 \approx I_2$.

$$\frac{U_N - U_V}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_2}$$

$$K_u = -\frac{R_2}{R_1}$$

$U_N = U_P = 0V$ thay vào phương trình trên ta được:

$$U_r = -\frac{R_2}{R_1} U_V$$

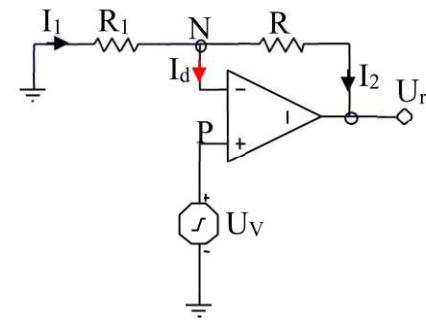


b. Mạch khuếch đại không đảo

$I_d = 0$ suy ra $I_1 = I_2$ ta có: $-\frac{U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_2}$

$U_N = U_P = U_V$ thay vào phương trình trên ta được:

$$U_r = (1 + \frac{R_2}{R_1}) U_V \quad K_u = (1 + \frac{R_2}{R_1})$$



c. Mạch cộng

Mạch cộng đảo

Ta có: $I_1 + I_2 + \dots + I_n = I_{ht}$ (Do $I_d = 0$)

Hay: $\frac{U_1 - U_N}{R_1} + \frac{U_2 - U_N}{R_2} + \dots + \frac{U_n - U_N}{R_n} = \frac{U_N - U_r}{R_{ht}}$

Do $U_N = U_P = 0$ thay vào biểu thức trên ta được:

$$U_r = -R_{ht} \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

Nếu $R_{ht} = R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ thì :

$$U_r = -(U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

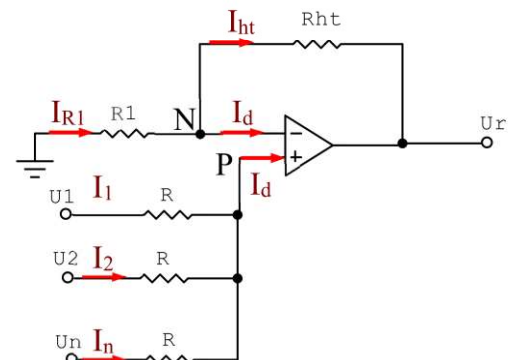
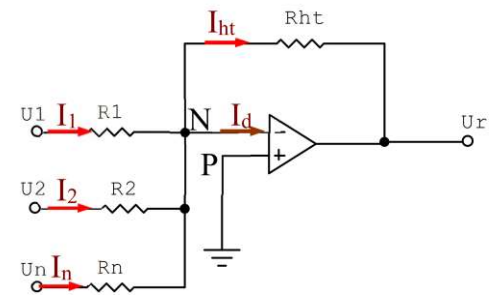
Mạch cộng không đảo:

Ta có: $I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$ (Do $I_d = 0$)

Hay: $\frac{U_1 - U_P}{R} + \frac{U_2 - U_P}{R} + \dots + \frac{U_n - U_P}{R} = 0$

Suy ra $U_1 + U_2 + \dots + U_n = n U_P$ (1)

$I_{R1} = I_{ht}$ (do $I_d = 0$). Nên ta có:



$$-\frac{U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_{ht}}$$

$$\Rightarrow U_P = U_N = \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}} \cdot U_r \quad (2)$$

Từ (1) & (2) suy ra: $U_1 + U_2 + \dots + U_n = n \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}} \cdot U_r$

$$U_r = \frac{R_1 + R_{ht}}{nR_1} (U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

Nếu $\frac{R_1 + R_{ht}}{nR_1} = 1$ thì $U_r = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Mạch trừ:

$$\frac{U_1 - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_2}$$

$$\frac{U_2 - U_P}{R_3} = \frac{U_P}{R_4}$$

$$U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_1$$

$$R_1 = R_3, R_2 = R_4 \quad U_r = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

$$R_1 = R_3 = R_2 = R_4 \quad U_r = (U_2 - U_1)$$

Mạch tích phân:

$$U_C = U_r - U_N = \frac{1}{C} \int I_C dt \quad (*)$$

$$I_C = I_R = \frac{U_V - U_N}{R} = \frac{U_V}{R} \quad (\text{do } U_N = U_P = 0) \text{ thay vào } (*) \text{ ta được:}$$

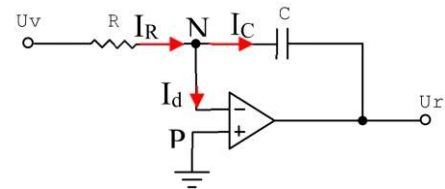
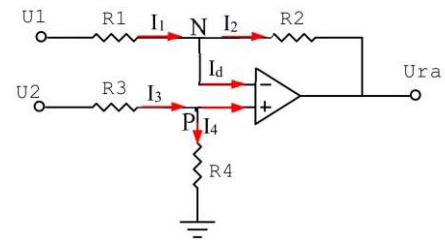
$$U_C = U_r - U_N = \frac{1}{C} \int I_C dt \quad (*)$$

$$I_C = I_R = \frac{U_V - U_N}{R} = \frac{U_V}{R} \quad (\text{do } U_N = U_P = 0) \text{ thay vào } (*) \text{ ta được:}$$

$$U_r = -\frac{1}{C} \int \frac{U_V}{R} dt = -\frac{1}{RC} \int U_V dt = -\frac{1}{\tau} \int U_V dt$$

$$U_C = U_r - U_N = \frac{1}{C} \int I_C dt \quad (*)$$

$$I_C = I_R = \frac{U_V - U_N}{R} = \frac{U_V}{R} \quad (\text{do } U_N = U_P = 0) \text{ thay vào } (*) \text{ ta được:}$$



$$U_r = -\frac{1}{\tau} \int U_v dt$$

Mạch vi phân:

$$U_c = U_v - U_N = \frac{1}{C} \int I_c dt$$

$$I_c = I_R = \frac{U_N - U_r}{R} = -\frac{U_r}{R}$$

$$U_v = \frac{1}{C} \int -\frac{U_r}{R} dt$$

$$U_r = -RC \frac{dU_v}{dt} = \tau \frac{dU_v}{dt}$$

